	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> Investigación	<b>Fecha de emisión:</b> 22-Nov-2009	<b>Fecha de versión:</b> 22-Nov-2009

**MANEJO AMBIENTAL PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS Y LA CAPTURA DE CARBONO EN UN SUELO PARA CULTIVO DE UVAS DE MESA Y VINO EN EL MUNICIPIO DE LA UNIÓN, VALLE DEL CAUCA.**

**EMPRESA CASA GRAJALES**

**LADY LAURA CASAS SANABRIA**


**UNIVERSIDAD ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BOGOTÁ, D.C.**

**2020**

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> Investigación	<b>Fecha de emisión:</b> 22-Nov-2009	<b>Fecha de versión:</b> 22-Nov-2009

**MANEJO AMBIENTAL PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS  
Y LA CAPTURA DE CARBONO EN UN SUELO PARA CULTIVO DE UVAS DE  
MESA Y VINO EN EL MUNICIPIO DE LA UNIÓN, VALLE DEL CAUCA.  
EMPRESA CASA GRAJALES**

**LADY LAURA CASAS SANABRIA**

**Informe de Trabajo de Grado**

**FRANK JIMY GARCIA NAVARRETE**

**Ingeniero Agrícola**

**MSc. Ingeniería Agrícola**

**SANDRO NOLAN IPAZ CUAUSTUMAL**

**Ingeniero Agrícola**

**Ph.D. Manejo y Conservación de Suelos y aguas**


**UNIVERSIDAD ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS INDUSTRIALES**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BOGOTÁ, D.C.**

**2020**

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por la vida, por este nuevo logro, por protegerme en todo mi camino y darme las fuerzas para superar los obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida y de la academia.

A mis padres María Rosa Sanabria Parada por estar a mi lado en todo momento, por los consejos, por la disposición de acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio, por su cariño, por su ayuda en el momento que nació mi hija y por todo el aliento que me brindo día a día para seguir y Jairo Antonio Casas Parra por apoyarme a diario, por los consejos, enseñanzas, por demostrarme el valor de la responsabilidad y sacar a adelante una familia, agradezco todo el apoyo que realizaron durante mi formación profesional, por ser la mayor motivación de crecer y luchar cada día por su bienestar.

A mis hermanos Jairo Arley Casas Sanabria por la motivación, el cariño y acompañamiento con mi hija en algunos momentos de mi formación profesional y Ana María Casas Sanabria por motivarme en cada momento a dar un paso adelante en busca de alcanzar este mi sueño, por las enseñanzas y por demostrarme con hechos que ante las situaciones más difíciles se puede levantar y luchar con más fuerzas.

A mi familia núcleo Sandro Ipaz por ser mi compañero de vida, por su dedicación, por la paciencia, por estar a mi lado en todo momento ya que no fue sencillo culminar este proceso pero siempre estás ahí para decirme que lo puedo lograr, gracias por ayudarme a culminar

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

este proceso por demostrarme que todo se puede lograr siendo recursiva y dedicada para lograrlo, por las enseñanzas y trasnochadas en el transcurso de mi formación, por la asesoría y seguimiento en la elaboración de este trabajo de grado, por ser un gran esposo, padre, hijo y hermano y a mi hija Saray Lucia Ipaz Casas por ser mi mayor tesoro, mi mayor motivación, porque llegaste justo en el momento adecuado para brindarme todo el amor y cariño que una persona desea tener.

Al ingeniero Oswaldo Puerto por permitir dentro de sus trabajos abriera un espacio para poder realizar esta investigación.

A Casa Grajales y el ingeniero Alberto Figueroa, por permitir el uso de sus campos de cultivos para realizar esta investigación.

A mi tutor Frank Jimmy García Navarrete por guiarme con sus consejos para realizar este trabajo de grado.


A mis profesores Andrés Ojalora, Liliana Ardila, Mauricio Rojas, Ruth Flores, Jaime Gil, María Claudia Caicedo, Nysell Pinto, Manuel Mayorga, Beryiny Ruiz, Alberto García, Carmen Mosquera, Raúl Celis, Carlos Rodríguez, Camilo Dumar, Blanca Pabón, Paola Arimendiz, Iván Ardila, Deiver Saavedra, Rafael Valero, German Castro, Miguel Ángel Vargas, por haberme inculcado que cada día llega con un conocimiento nuevo, por

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

inculcarme la humildad que debo tener para con todos los que me rodean, y por todo su conocimiento que día a día me regalaron desde su sapiencia y de sus vivencias; a Diego Casas y Juliana Arroyave haberme facilitado muchos procesos y acompañamientos administrativos.

A mis amigas y compañeras de universidad Angy Guzmán y Erika Pabón, porque al lado de ellas todo fue fácil de realizar, por más complicado que fuera un trabajo, un ejercicio, siempre con ustedes todo logramos solucionarlo, por su amistad y sus consejos.

A todos aquellos que contribuyeron para que el transcurrir por la Universidad ECCI fuera más fácil de llevar, y para aquellos que contribuyeron para que esta investigación llegara a feliz término.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

## NOTA DE ACEPTACIÓN

### Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité Evaluador  
en cumplimiento de los requisitos  
exigidos por la Universidad ECCI para  
optar el título de Ingeniería Ambiental.



\_\_\_\_\_  
**Firma Director de Trabajo de Grado**  
FRANK JIMY GARCIA NAVARRETE




\_\_\_\_\_  
**Firma del Jurado**  
CARMEN STELLA MOSQUERA VIVAS




\_\_\_\_\_  
**Firma del Jurado**  
RAUL ERNESTO CELIS OSSA

Bogotá, 15 Marzo de 2021

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


## Contenido

MANEJO AMBIENTAL PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS Y LA CAPTURA DE CARBONO EN UN SUELO PARA CULTIVO DE UVAS DE MESA Y VINO EN EL MUNICIPIO DE LA UNIÓN, VALLE DEL CAUCA. EMPRESA CASA GRAJALES.....	12
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
3.1. JUSTIFICACIÓN.....	17
3.2. DELIMITACIÓN.....	21
4. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
4.1 MARCO TEÓRICO.....	22
4.1.1 La Materia Orgánica y las Propiedades Físicas del Suelo.....	22
4.1.2 La Incorporación de Materia Orgánica al Suelo y la Captura de Carbono ...	24
4.1.3 Para Colombia.....	26
4.1.4 Efecto de la agricultura en la emisión y absorción de CO <sub>2</sub> . ....	26
4.2 MARCO CONCEPTUAL.....	28
4.2.1 Distribución de Tamaño de Partículas o Textura.....	28
4.2.2 Límites de Plasticidad.....	30
4.2.3 Densidad aparente.....	31
4.2.4 Porosidad.....	31
4.2.5 Módulo de Ruptura.....	32
4.2.6 Movimiento y Retención de Agua en el Suelo.....	33
4.2.7 Problemas de Compactación Aireación.....	35
4.3 MARCO LEGAL.....	36
4.3.1 Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo GIAS.....	36
4.3.2 Política para la Gestión Sostenible del Suelo.....	37
4.3.3 Protocolo de Kyoto.....	38
4.4 MARCO HISTÓRICO.....	38
5. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	44


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

6.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	45
6.1.	DIAGNOSTICAR LA COMPOSICIÓN MECÁNICA DEL SUELO, LA PLASTICIDAD Y EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA.....	45
12.1.1	Distribución de Tamaño de Partículas o Textura .....	45
12.1.1	Límites de Plasticidad.....	51
12.1.1	Contenido de Materia Orgánica del Suelo.....	54
6.2.	DIAGNOSTICAR LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES Y LA DINÁMICA ESTRUCTURAL DEL SUELO SUPERFICIAL.....	54
6.2.1	Densidad Aparente .....	55
6.2.2	Porosidad [Mesa de Tensión] .....	57
6.2.3	Módulo de Ruptura.....	59
6.2.4	Porcentaje de Agregación.....	61
6.2.5	Distribución de Agregados Estables al Agua .....	64
6.2.6	Estabilidad de Agregados Frente al Impacto de las Gotas .....	68
6.3.	DIAGNOSTICAR LA PENETRACIÓN Y CIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO (INFILTRACIÓN CON ANILLO, BOTELLA DE MARIOTTE Y LLUVIA SIMULADA; CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN SUELO SATURADO CON CARGA CONSTANTE E ÍNDICE DE SELLADO).....	73
6.3.1	Infiltración en Cilindro .....	73
6.3.2	Infiltración de Agua Lluvia Simulada .....	79
6.3.3	Conductividad Hidráulica en Suelo Saturado con Carga Constante .....	83
6.4.	DIAGNOSTICAR LA RETENCIÓN Y PÉRDIDA DE HUMEDAD DEL SUELO (CC EN CAMPO Y CCRH). .....	86
6.4.1	Capacidad de Campo en Campo.....	86
6.4.2	Curva Característica de Retención de Agua en el Suelo .....	89
6.5.	DIAGNOSTICAR LOS PROBLEMAS DE COMPACTACIÓN Y ENCOSTRAMIENTO DEL SUELO (PROCTOR Y RESISTENCIA A LA RUPTURA). .....	94
6.5.1	Compactación, Aireación y Modulo de Ruptura.....	94
6.6.	APLICACIÓN DE LA MATERIA ORGANICA COMERCIAL AL SUELO .....	99
6.7.	DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y DE CORRELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES DETERMINADAS Y LOS TRATAMIENTOS DE MATERIA ORGÁNICA.....	101
6.8.	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO ESTUDIADO .....	102
7.	FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN .....	106



	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


7.1.	FUENTES PRIMARIAS.....	106
7.2.	FUENTES SECUNDARIAS .....	106
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	109
8.1.	DIAGNOSTICAR LA COMPOSICIÓN MECÁNICA DEL SUELO Y EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO (MOS).....	112
8.1.1	Textura del Suelo.....	113
8.1.2	Materia Orgánica del Suelo (MOS).....	114
8.1.3	Humedad Óptima de Labranza (Hopt1) .....	116
8.2.	DIAGNOSTICAR LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES Y LA DINÁMICA ESTRUCTURAL DEL SUELO SUPERFICIAL.....	119
8.2.1	Densidad Aparente [Dan(Mg.m <sup>-3</sup> )] .....	119
8.2.2	Porosidad Total [PT] .....	122
8.2.3	Microporosidad (Microporos) .....	125
8.2.4	MR Módulo de Ruptura [MR].....	126
8.2.5	Porcentaje de Agregados Retenidos en Tamices 20*35.....	126
8.2.6	Índice de Estabilidad [IndiceEstab].....	130
8.2.7	Microagregados .....	130
8.3.	DIAGNOSTICAR LA PENETRACIÓN Y CIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO	132
8.3.1	Conductividad Hidráulica Saturada (Ks(cm/h)).....	132
8.3.2	Velocidad de Infiltración (VI).....	134
8.4.	DIAGNOSTICAR LA RETENCIÓN DE AGUA .....	135
8.4.1	Capacidad de Campo (0.3bar) .....	135
8.4.2	Agua Aprovechable (AA).....	137
8.5.	DIAGNOSTICAR LOS PROBLEMAS DE COMPACTACIÓN Y ENCOSTRAMIENTO DEL SUELO .....	138
8.5.1	Módulo de Ruptura.....	138
12.1.1	Compactación .....	138
8.6.	CAPTURA DE CARBONO EN EL SUELO (COS) A PARTIR DEL AUMENTO DE LA MOS .....	140
9.	CONCLUSIONES.....	143
10.	RECOMENDACIONES .....	147
11.	REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA) .....	148
12.	ANEXOS .....	153
12.1.	ANEXO X1. INFORME DE ANÁLISIS DE VARIANZA DE RStudio .....	153

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

12.1.1	Resultados para Profundidad de 0-30 cm.....	153
12.1.2	Resultados para Profundidad de 30-60 cm.....	163
12.2.	ANEXO X2. TABLA DE RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICOS DEL ENSAYO .....	172
	ANEXO X3. DESCRIPCIÓN DEL SUELO BAJO ESTUDIO.....	173

### Lista de Figuras


<b>Figura 1</b>	Área Sembrada en Uva en el Municipio de La Unión Entre 2000 y 2018.....	19
<b>Figura 2</b>	Triángulo de Clasificación Textural .....	50
<b>Figura 3</b>	Muestreador Uhland .....	55
<b>Figura 4</b>	Montaje para determinar estabilidad de agregados del suelo .....	68
<b>Figura 5</b>	Montaje de la Prueba de Infiltración con Cilindro .....	75
<b>Figura 6</b>	Montaje del Simulador de Lluvias y las Muestras de Suelo .....	81
<b>Figura 7</b>	Variación de la MO del Suelo Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial en la Capa de 0-63 cm .....	115
<b>Figura 8</b>	Variación de la MOS Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial en la Capa de 30-60 cm .....	116
<b>Figura 9</b>	Variación de la Humedad Óptima de Labranza (Hopt1) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial en la Capa de 30-60 cm .....	117
<b>Figura 10</b>	Variación de la Humedad Óptima de Labranza (Hopt1) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 30-60 cm .....	119
<b>Figura 11</b>	Variación de la Densidad Aparente (Mg.m <sup>-3</sup> ) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm .....	120
<b>Figura 12</b>	Variación de la Densidad Aparente (Mg.m <sup>-3</sup> ) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 30-60 cm .....	122
<b>Figura 13</b>	Variación de la Porosidad Total (PT) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm .....	123
<b>Figura 14</b>	Variación de la Porosidad Total (PT) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 30-60 cm .....	124
<b>Figura 15</b>	Variación de la Microporosidad Total (Microporos) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm .....	125
<b>Figura 16</b>	Variación del Porcentaje de Agregados Retenidos en los Tamices 20 (a) y 35 (b) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm...	127
<b>Figura 17</b>	Variación en la Distribución del Tamaño de Agregados Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial .....	129
<b>Figura 18</b>	Variación de los Microagregados Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm.....	131
<b>Figura 19</b>	Conductividad Hidráulica Saturada Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO .....	133

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

<b>Figura 20</b> Variación de la Velocidad de Infiltración (VI) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm .....	134
<b>Figura 21</b> Variación de la Capacidad de Campo (0.3bar) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm .....	136
<b>Figura 22</b> Variación del Agua Aprovechable (AA) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm .....	137
<b>Figura 23</b> Variación del Grado de Compactación Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm .....	139
<b>Figura 24</b> Variación del Carbono Orgánico del Suelo Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm .....	140
<b>Figura 25</b> Variación del COS Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha <sup>-1</sup> de MO Comercial en la Capa de 30-60 cm .....	142
<b>Figura 26</b> Fotografía del Perfil del Suelo V26 de la Serie GLar .....	173

### Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> Tabla para el Ajuste de la Lectura del Hidrómetro .....	30
<b>Tabla 2</b> Cálculos para Diámetro Medio Ponderado del Suelo .....	48
<b>Tabla 3</b> Estabilidad de Agregados.....	66
<b>Tabla 4</b> Tabla de Cálculo de la Infiltración del Suelo.....	76
<b>Tabla 5</b> Tabla para Cálculo de Índice de Sellado.....	81
<b>Tabla 6</b> Tratamientos del Ensayo .....	101
<b>Tabla 7</b> Prueba de Normalidad de las Variables Analizadas .....	109
<b>Tabla 8</b> Significancia Estadística (p<0.2) Determinada para las Propiedades Evaluadas	111
<b>Tabla 9</b> Textura de los Suelos Estudiados.....	113

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**MANEJO AMBIENTAL PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS Y LA CAPTURA DE CARBONO EN UN SUELO PARA CULTIVO DE UVAS DE MESA Y VINO EN EL MUNICIPIO DE LA UNIÓN, VALLE DEL CAUCA. EMPRESA CASA GRAJALES.**

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El presente trabajo evalúa el comportamiento hidráulico del suelo y la captura de carbono como respuesta a la incorporación de materia orgánica dentro del proyecto “*RESPUESTA DE 6 VARIETADES/injerto DE Vitis vinifera A PRACTICAS DE MANEJO DE AGRICULTURA LIMPIA, EN EL CRECIMIENTO, DESARROLLO, PRODUCCION Y CALIDAD AGROINDUSTRIAL DE UVAS PARA MESA Y VINO EN LA UNION VALLE DEL CAUCA*”; y tiene como finalidad principal la construcción de conocimiento sobre buenas prácticas de manejo ambiental del suelo para el cultivo de la vid.

La Política de Gestión Integral de Suelo (GIAS, 2013), asevera que en Colombia entre los índices de la degradación del suelo, se tiene la pérdida de materia orgánica, el sellamiento, y la compactación; los que afectan negativamente su capacidad para cumplir con sus funciones y servicios ecosistémicos (Lal, 1994). (Lal, 1997).

De otro lado (Lal, 2012) indica que el cambio de uso del suelo hacia sistemas intensivos y semintensivos, desencadenan procesos de degradación (principalmente explicada por la

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

disminución de la materia orgánica), lo que se expresa como la disminución de su capacidad de producción o de cumplir con sus funciones ambientales.

“El manejo del suelo y de los cultivos puede mejorar en forma importante el tiempo de residencia y el almacenamiento del nuevo carbono en el suelo, lo cual es considerado en el Protocolo de Kyoto y los acuerdos post-Kyoto” (Buyanovski G. , 1998). Las bondades de las buenas prácticas de manejo del suelo y cultivos se ven reflejadas en el comportamiento hidráulico del suelo; es así como (Paz, Lado, & Ben-Hur, 2004) confirman que la mayor disminución de la conductividad hidráulica se presentó en suelos con bajo contenido de materia orgánica, lo que se explica por aplastamiento y dispersión de arcilla.

Si se considera que los coloides del suelo -las arcillas y la materia orgánica- a través de sus cargas y cationes intercambiables, y en conjunto su capacidad floculante son las responsables de la estabilidad estructural, la incorporación de materia orgánica resultaría en la mejora de la estructura y porosidad del suelo, por ende la consecuente mejora de las propiedades hidráulicas mediadas por la acción de los poros presentes. Es confirmado por los autores (Bowman, Reeder, & Lober, 1990) quienes encontraron bajos contenidos de agua en el suelo a capacidad de campo (-33 Kpa) debido a la pérdida de materia orgánica.

De otro lado, en suelos con rotaciones de pastos con cultivos de alfalfa, maíz y mijo (Joseph, Maysoon, & Merle, 2008) encontraron que al incrementar el contenido de materia orgánica

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


disminuyó la densidad aparente, se incrementaron la agregación, la porosidad de diámetro mayor a 50 $\mu$ m y la conductividad hidráulica saturada.

En el cultivo de la caña, (Cherubina, Karlen, Franco, & Tormena, 2016) indican que las operaciones de labranza realizadas durante la replantación a los 5 años, tuvieron un efecto positivo a corto plazo sobre la calidad física del suelo, aunque con el tiempo disminuyó aún más la resistencia a la erosión y la degradación estructural.

Los mismos autores, aseveran que estos suelos deben manejarse de manera que se incremente la materia orgánica y de esta forma minimizar la compactación; con lo que se evitaría una mayor degradación de la calidad física del suelo y la mejora de la sostenibilidad económica y ambiental de la producción del cultivo de caña de azúcar.

En la vid es posible tener patrones de enraizamiento injertados a la variedad que se va a utilizar como cultivo, esto con el fin de aprovechar las ventajas de variedades con buen desarrollo radical y variedades de alto valor comercial para mesa o vino.


Pese a lo anterior, las zonas productoras de uva tienen en común que presentan suelos de fácil manejo por sus propiedades hidráulicas debidas a la alta porosidad; es así que en Chile y Perú predominan los suelos arenosos, mientras en España los Entisoles e Inceptisoles de diferente granulometría son de bajo desarrollo pedogenético (Penedes y Priorar); condiciones que

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

contrastan con la alta microporosidad de los suelos del Valle del Cauca, que dificultan el manejo de la fertigación y la aireación. Bajo estas consideraciones, se formula el interrogante de la investigación.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Las buenas prácticas de manejo ambiental que incluyen la incorporación de materia orgánica mejoran el movimiento y retención de agua en suelos para cultivo de la vid e incrementan la captura de carbono?

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

## 2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Mejorar las propiedades hidráulicas y la captura de carbono a partir de la incorporación de materia orgánica en un suelo con el fin de cultivar uvas para mesa y vino en el municipio de La Unión, Valle del Cauca.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar la composición mecánica del suelo y el contenido de materia orgánica (Textura, mineralogía, plasticidad y MOS).
2. Diagnosticar las condiciones estructurales y la dinámica estructural del suelo superficial (Da, Porosidad [Mesa de tensión], Módulo de Ruptura, Porcentaje de agregación, Distribución de agregados estables al agua).
3. Diagnosticar la penetración y circulación del agua en el suelo (Infiltración con anillo y conductividad hidráulica en suelo saturado con carga constante).
4. Diagnosticar la retención y pérdida de humedad del suelo (CCRH).
5. Diagnosticar los problemas de compactación y encostramiento del suelo (Resistencia a la ruptura).
6. Evaluar la captura de carbono en el suelo (COS) a partir del aumento de la MOS.




	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

### 3. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. JUSTIFICACIÓN


El presente trabajo tiene como finalidad principal la construcción de conocimiento sobre las prácticas de agricultura limpia en la producción de uvas de mesa y para vinos en Colombia; y hace parte del proyecto **“RESPUESTA DE 6 VARIEDADES/injerto DE *Vitis vinífera* A PRACTICAS DE MANEJO DE AGRICULTURA LIMPIA, EN EL CRECIMIENTO, DESARROLLO, PRODUCCION Y CALIDAD AGROINDUSTRIAL DE UVAS PARA MESA Y VINO EN LA UNION VALLE DEL CAUCA”** que se realiza en los campos de producción de la empresa Casa Grajales, en el municipio de la Unión, Valle del Cauca.

Pese a que la producción de uvas *Vitis vinífera* en Colombia lleva más de 60 años aún no se ha documentado la base científica y tecnológica que permita conocer su comportamiento en las diferentes regiones de Colombia, que permitan crear líneas de ajuste y desarrollo tecnológico que provea a los viticultores información confiable para mejorar su competitividad en el mercado. El desarrollo tecnológico fue asumido por los productores mediante la técnica de ensayo – error y se han escrito manuales basados en literatura internacional, lejana a nuestra realidad, o en la descripción de prácticas sobresalientes de agricultores que se realizan en forma empírica.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

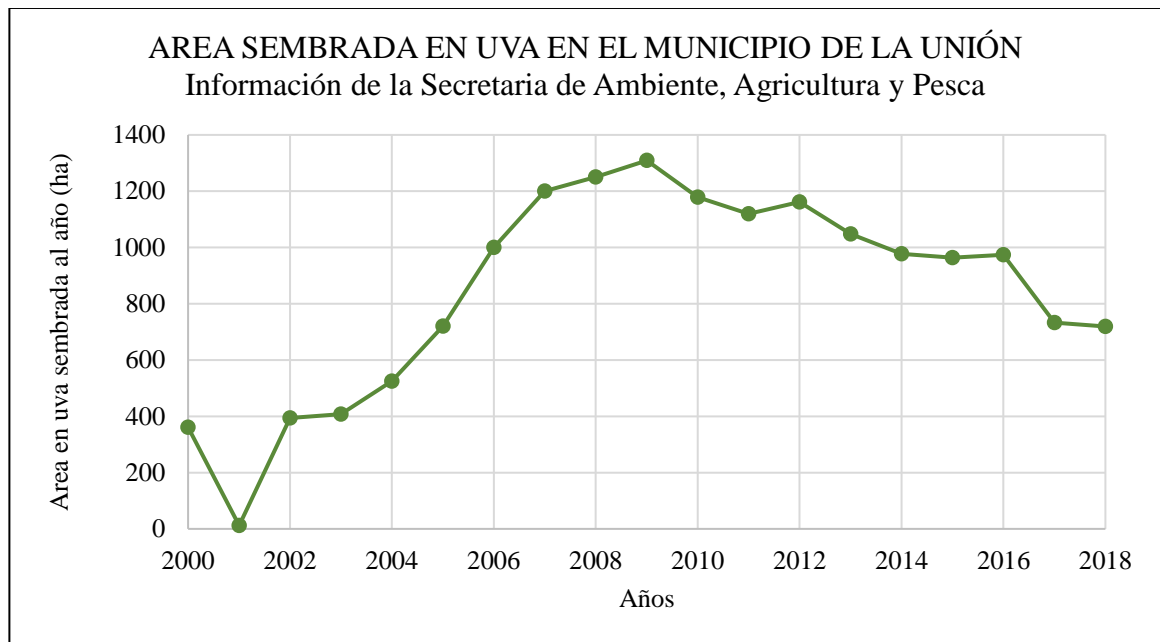
En la actualidad varios de los cultivos de uva de mesa en el norte del Valle del Cauca se están erradicando y dejan sin trabajo a cientos de personas que derivan su sustento, y el de sus familias, de esta actividad que ha pasado de 1309 has en 2009 a 720 has en 2018 (Figura 1), situación que contrasta con otras partes del mundo en la zona tropical similares a las zonas de producción en Colombia, como es el caso de Brasil donde esta actividad genera empleo y mantiene una agroindustria de exportación de uvas de mesa y para vinos de calidad internacional (exportación de 2.2 millones de litros a 36 países en 2016, que representa un aumento del 45% en valor (Puerto, 2018).

Comparando dos lugares productores de uva como lo son el Vale do Sao Francisco y el Valle del Cauca, el primero está ubicada a 7 grados de latitud sur, no presenta estaciones y la precipitación promedio es de 500 mm al año, con temperaturas promedio de 24°C; mientras el Valle del Cauca se encuentra 4 grados de latitud norte, su precipitación es de 1.100 mm.año<sup>-1</sup>. y la temperatura media es 24°C; la similitud de las dos regiones contrasta con la diferencia en cuanto a la industria vitivinícola que es exitosa y rentable en Brasil mientras en Colombia hay crisis de los cultivos tradicionales.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Figura 1**


*Área Sembrada en Uva en el Municipio de La Unión Entre 2000 y 2018.*



Fuente: Elaboración Propia

El presente estudio sobre el manejo ambiental para mejorar las propiedades hidráulicas y la captura de carbono en un suelo en la producción de uvas en Colombia, busca dar respuesta a las crecientes necesidades de los viticultores que ocupan unas 1.961 has en Valle del Cauca, y que enfrentan una grave crisis por tener cultivos envejecidos bajo tecnología artesanal que se erradican paulatinamente, obligados por los bajos resultados económicos provocados por la producción de baja calidad.

De otra parte, en los últimos 15 años se han plantado cultivos con alta tecnología, que hoy suman 200 has (con vocación de exportación). Estos cultivos de alta tecnología enfrentan el


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

efecto de los cambios en el clima y la presencia de suelos con predominio de arcillas expansivas, en los que prima el manejo del agua en el suelo, lo que está relacionado con su capacidad de drenaje y almacenamiento de agua.

La disminución del área cultivada en uva en el Valle del Cauca está dejando sin trabajo a cientos de personas que derivan su sustento de esta actividad, por lo que se hace necesario reconvertirla ambientalmente a través de tecnologías de alto nivel de adopción y en aras aumentar el rendimiento, que redundará en la mejora de la rentabilidad del cultivo.

Observando el desarrollo incipiente de la industria vitícola en el Valle del Cauca, donde se están implementando los primeros cultivos con nuevas tecnologías, es necesario que esta adopción se realice bajo estricto seguimiento científico y técnico para apropiarse al máximo las experiencias de países como Perú y Brasil.


El presente trabajo implementará la práctica de aplicación de materia orgánica desde la preparación del terreno, a través de la incorporación en la preparación del suelo para el cultivo de la uva, aplicación que actualmente es muy baja (10 a 20 ton/ha) con respecto a lo que se aplica en otros países productores de uva donde aplican hasta 100 ton/ha. Con este manejo se pretende mejorar la agregación de las partículas, aumentar la porosidad y el movimiento del agua en el perfil del suelo, lo que excederá en la ganancia de materia orgánica en el suelo, y con esto la captura de carbono orgánico.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

### **3.2. DELIMITACIÓN**

El proyecto de investigación se limitó a evaluar los cambios en las propiedades hidráulicas y en la captura de carbono, como resultado del manejo ambiental del suelo en cultivos de vid mediante la incorporación de materia orgánica durante la preparación de los suelos del lote experimental de la empresa Casa Grajales. El lote experimental fue instalado desde septiembre de 2018.

La investigación se realizó dentro del lote experimental de la empresa Casa Grajales, porque es el único que presentó las condiciones de rigor científico requerido relacionado con la aleatoriedad del diseño experimental en campo, además de contar con el apoyo de los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira para realizar las determinaciones.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

#### 4. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN


##### 4.1 MARCO TEÓRICO

##### *4.1.1 La Materia Orgánica y las Propiedades Físicas del Suelo.*

El incremento de la materia orgánica o humus, mejora las condiciones físicas del suelo porque junto con la arcilla cumple el papel de unir sus partículas limos y arenas, dando origen a la agregación; y aumentando la estabilidad estructural. El desarrollo de la estructura también favorece la penetración del agua, su retención y favorece el intercambio de gases con la atmosfera. Así como afecta la fertilidad física del suelo, también tiene efectos positivos sobre el componente químico, ya que aumenta la capacidad de cambio, la reserva de nutrientes y la capacidad tampón (Graetz, 1997), la que se puede entender como un efecto resiliente en el pH del suelo.

La cantidad de materia orgánica en el suelo depende de factores como la incorporación de nuevos restos orgánicos y su velocidad de oxidación química y biológica, la velocidad de mineralización de la materia orgánica existente en el suelo, de la textura, la aireación, la humedad y de factoras climáticos.

Las prácticas de manejo de los cultivos influyen sobre la materia orgánica del suelo, porque esta controlo el desarrollo de microorganismos responsables de la mineralización cuando hay baja disponibilidad de residuos orgánicos. Esto es una manifestación del crecimiento de la


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

actividad biológica, que se traduce en la práctica en una mejora de la fertilidad ; por tanto, de los rendimientos (Gros & Domínguez, 1992), pero que puede llegar a ser nociva para la estabilidad estructural del suelo.

(Ruiz, Bienes, Arévalo, & Marquez, 2011) encontraron en ensayos de coberturas vegetales, que se mejoró la velocidad de infiltración básica del suelo, debido a la relación estrecha entre la infiltración y la meso y macroporosidad, las cuales permiten el movimiento del agua en el mismo y dan acción a la gravedad.

El incremento de la estabilidad de agregados al agua se puede explicar por la resistencia al rompimiento a través del incremento de la cohesión interna de los agregados (Chenu, Arrouays, & Le Bissonnais, 2000) fenómeno que se explica a partir de la acción de la materia orgánica como sustancia que une las partículas y brinda estabilidad al suelo.

La conductividad hidráulica y la materia orgánica del suelo son los índices que explicaron el rendimiento de los cultivos de haba, maíz y frijol (Navarro, Figueroa, Matinez, Gonzelez, & Osuna, 2008), (Dexter, 2004), (Carter, 2002). Además de mejorar las propiedades físicas e hidráulicas del suelo, el incremento de la materia orgánica a partir de la incorporación al inicio y durante el desarrollo de sistemas productivos, aumentó la retención de agua, redujo la densidad aparente, e incrementó la porosidad (Khairul, Monirul, Nazmus, & Hasanuzzaman, 2014).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


Los sistemas de producción semi intensivos como el del cultivo de la caña de azúcar, conducen a una rápida disminución en los niveles de materia orgánica y nutrientes, además de afectar las propiedades físicas del suelo. El carbono orgánico del suelo es un índice importante de la fertilidad, debido a su relación con la productividad de los cultivos; es así, que la disminución de los niveles de carbono orgánico a menudo conduce a una disminución de la productividad de los cultivos. Por lo tanto, mantener el nivel de carbono orgánico es esencial para la sostenibilidad agrícola. El uso de acondicionadores orgánicos, como el biochar (acondicionador de suelo obtenido a partir de biomasa procesada a través de pirólisis), puede mejorar el crecimiento de las plantas al mejorar la condición física del suelo, es decir, la capacidad de retención de agua, la densidad aparente, la porosidad, la infiltración (Das, Mukherjee, & Kumal, 2015)

#### ***4.1.2 La Incorporación de Materia Orgánica al Suelo y la Captura de Carbono***

Finalmente, bajo el contexto ambiental, la incorporación de residuos orgánicos, como el Biochar, potencializa la reducción de las altas concentraciones de gases de efecto invernadero (Das & Mukherjee, 2014), esto a través de la captura de carbono que es almacenada en el suelo.

Sobre esto, (Burbano, 2018) indica que frente a este problema global, el suelo y su componente bio-orgánico pueden contribuir a mitigar el cambio climático, en la medida en




	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

que se racionalice el uso del suelo y se preserve el carbono orgánico del mismo, mediante prácticas de manejo idóneas que inclinen la balanza a favor de la fijación o secuestro de carbono, antes de la salida del carbono del sistema suelo, con la consiguiente formación de gases de efecto invernadero.

Es evidente que el suelo es un gran reservorio de carbono en la naturaleza (Dimas & Gnacadja, 2009). Ahora, el contenido de carbono en el suelo obedece a sus características y al equilibrio entre las tasas de entrada de carbono orgánico de origen vegetal y animal, y las de salida, resultantes del metabolismo microbiano que genera CO<sub>2</sub>. Cabe señalar que las tipologías de los suelos son diversas, por tanto se toman en cuenta en los balances que determinan las cantidades de carbono orgánico en el suelo (COS), sumando a ello la influencia del clima y las prácticas de manejo adoptadas (Docampo, 2010).

El manejo del suelo puede direccionar su rol en las circunstancias del cambio climático, al afectar sus contenidos de carbono y llevar, aunque en principio resulte paradójico, a que el suelo en lugar de sumidero de carbono pase a ser un emisor importante de GEI. Por eso, en el mundo de hoy se busca que unas apropiadas prácticas agrícolas y silvícolas recuperen y mantengan la potencialidad de los suelos e influyan al tiempo en la cantidad de carbono que estos puedan almacenar (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2015). En la misma dirección se propone una gestión sostenible de la tierra (GST) que obre en dos sentidos. La reconstrucción de las reservas de carbono en el suelo lo mismo que de la cobertura vegetal,

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


y la disminución del CO<sub>2</sub> atmosférico y la desaceleración del calentamiento global (Gabathuler, Liniger, Hauert, & Giger, 2009).

#### ***4.1.3 Para Colombia***

En los sistemas de producción vitícola de Colombia no existe información rigurosa publicada sobre el efecto de la incorporación de la materia orgánica en las propiedades físicas de los suelos. De esta manera, la investigación planteada es pionera para estos sistemas de producción, que para Colombia están en crecimiento y que requieren de acompañamiento científico para evitar posibles problemas de deterioro del recurso suelo, y así mismo, incrementar la captura de carbono, y de esta forma reducir la tasa de emisiones de gases de efecto invernadero.

#### ***4.1.4 Efecto de la agricultura en la emisión y absorción de CO<sub>2</sub>.***


Los impactos antropogénicos en el suelo pueden convertirlo en sumidero o fuente neta de GEI. Como fuente, el suelo emite GEI a la atmósfera donde atrapan la radiación térmica que aumenta el efecto invernadero contribuyendo así al calentamiento global. Los gases de efecto invernadero a base de carbono emitidos por el suelo son el CO<sub>2</sub> y el metano (CH<sub>4</sub>), que son dos de los principales GEI antropogénicos emitidos (FAO, 2017).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

El aumento de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, de 240 PgC entre 1790 y 2011, para finalmente en 2014 tener una concentración atmosférica de 397 ppm, se atribuye principalmente a la combustión de combustibles fósiles y al cambio del uso de la tierra, especialmente la deforestación. En los suelos, la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se produce cuando los residuos orgánicos o la MOS se oxidan. El flujo de CO<sub>2</sub> liberado por la fauna del suelo y las raíces subterráneas del suelo a la atmósfera se denomina respiración del suelo y representa el segundo mayor flujo de carbono terrestre (FAO, 2017).

El metano es 28 veces más potente que el CO<sub>2</sub> como GEI. La liberación de metano en los suelos la realizan los metanógenos al descomponer anaeróbicamente de los residuos orgánicos, de esta manera, los suelo saturados o con mal drenaje son la fuente principal de metano. Los inventarios de GEI estimaron que las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de los arrozales aumentaron de 0.37 PgCO<sub>2</sub>-eq/año en 1961 a 0.50 PgCO<sub>2</sub>-eq/año en 2010 (FAO, 2017).

Para Colombia el histórico de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente se aumentaron aproximadamente de 60 Mton en 1990 a 75 Mton den 2012, mientras las absorciones pasaron de 420 Mton en 1999 a 300 Mton en 2012. De esta manera para el Valle del Cauca las emisiones se estimaron en 3,84 Mton y las absorciones en 2,78 Mton. De esta manera el balance neto indica que las emisiones son mayores en las actividades agropecuarias (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2016).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Para el Valle del Cauca en el 2012 las emisiones y absorciones fueron 16,5 y 4,4 Mton de GEI respectivamente, mientras que el balance de carbono por crecimiento y resiembras de cultivos permanentes fue de 2,60 Mton de CO<sub>2</sub> equivalente (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2016).

## **4.2 MARCO CONCEPTUAL**

La investigación está contextualizada en la línea de Manejo Ambiental del Suelo, y con esta se pretende orientar a los productores o asesores técnicos del cultivo, sobre la importancia y el papel de la materia orgánica sobre las propiedades hidráulicas del suelo. Dado este contexto el marco conceptual hace una breve revisión sobre las propiedades hidráulicas.

### ***4.2.1 Distribución de Tamaño de Partículas o Textura***

En tamizaje para segregar partículas de acuerdo a su tamaño, solo se usa en la práctica para las fracciones gruesas. Para las fracciones finas se usa la sedimentación en líquidos, aplicando la ecuación de Stokes que relaciona la velocidad de sedimentación de partículas esféricas. Para determinar la concentración de sólidos en suspensiones a una profundidad dada, y en un momento dado, se puede usar el método de la pipeta, o el del hidrómetro. Este último, aunque algo menos preciso, es mucho más rápido, y suficiente para la mayoría de los propósitos (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

La ecuación de Stokes puede expresarse de la siguiente forma:

$$d = \frac{\theta}{\sqrt{t}}$$

$$\text{donde: } \theta = 1000 \sqrt{30\eta S / g (\rho_s - \rho_L)}$$

*S*: distancia vertical en cm recorrida por una partícula esférica

*d*: es el diámetro de la partícula ( $\mu$ )

*t*: es el tiempo de recorrido de la partícula hasta la profundidad de la bureta (min) o profundidad efectiva del hidrómetro.


$\eta$ : viscosidad del líquido (para agua a 30°C tiene un valor de 0.008007 poises).

$\rho_L$ : densidad del líquido (0.99949 gm/cc para la solución Calgon-agua a 30°C).

$\rho_s$ : densidad promedio de las partículas, tomada como 2.650 gr/cc.

*g*: aceleración de la, tomada como 980.7 cm/seg<sup>2</sup>.

Valores de *d* calculados para diferentes valores de *S*, y por lo tanto de lecturas de hidrómetro (*L*), han sido calculados y tabulados para una temperatura de 30°C., a fin de facilitar los cálculos. (Tabla 1).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Tabla 1**

*Tabla para el Ajuste de la Lectura del Hidrómetro*


<b>L</b>	<b>q</b>	<b>L</b>	<b>q</b>	<b>L</b>	<b>q</b>	<b>L</b>	<b>q</b>
-4	50,1	8	47,2	20	43,9	32	40,4
-2	49,6	10	46,7	22	43,4	34	39,8
0	49,2	12	46,2	24	42,8	36	39,2
2	48,7	14	45,6	26	42,2	38	38,6
4	48,2	16	45,0	28	41,6	40	38,0
6	47,7	18	44,5	30	41,0	-	-

Fuente: (*Pla Sentis, 1983*)

#### **4.2.2 Límites de Plasticidad**

Estos límites determinan en forma empírica el rango de humedad en el cual el suelo muestra plasticidad, o sea, la propiedad de sufrir una deformación permanente sin desquebrajarse ni fluir. Desde el punto de vista práctico representan los límites de humedad entre los cuales es más peligroso manipular un suelo con equipos de labranza o cultivo, por posibles efectos de compactación y sellado de la superficie del suelo. El efecto de compactación puede extenderse hasta el suelo por debajo de la profundidad de laboreo (Pla Sentis, 1983).

El suelo es plástico, cuando se forma una capa continua de moléculas de agua de hidratación de los cationes absorbidos entre las laminillas de arcilla, la cual facilita, como un lubricante, el desplazamiento de unas sobre otras, sin permitir su separación. Cuando el contenido de agua es tal que la unión de las laminillas de arcilla a través de moléculas de agua se debilita hasta permitir su movimiento independiente, el suelo se hace fluido. El contenido de agua

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


cuando el suelo se hace plástico corresponde al llamado límite inferior de plasticidad, mientras que la humedad cuando se hace fluido corresponde al límite superior de plasticidad. Ambos límites, y el rango entre ellos están influidos principalmente por el contenido y tipo de arcilla, y por los cationes intercambiables (Pla Sentis, 1983).

#### ***4.2.3 Densidad aparente***

En un mismo suelo, el valor de densidad aparente es un buen índice del grado de compactación, o sea, de la reducción del espacio poroso con radio equivalente mayor, llamado a veces espacio poroso no capilar, responsable del drenaje rápido del exceso de agua y por ende de la aireación. Como en los suelos con desarrollo estructural, muchos de esos poros, al menos los que tiene mayores radios, se encuentran entre los agregados, o entre grupos de estos que forman terrones no refleja bien el grado de compactación, pues corrientemente se obtienen valores mucho más altos (Pla Sentis, 1983).

#### ***4.2.4 Porosidad***

La porosidad del suelo es la que determina sus relaciones agua-aire. En condiciones de agricultura de secano, con distribución muy irregular de las lluvias, dichas relaciones son en muchos casos determinantes de la producción.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

En relación a la porosidad, más que su valor total, nos interesa su distribución, y en particular la proporción relativa de la fracción de poros que pierden con facilidad el agua, y de la fracción que retiene el agua. La separación entre unos y otros es algo arbitraria, pero en condiciones donde son comunes los aportes momentáneos de exceso de agua, y el drenaje interno del suelo es relativamente lento ha resultado ser un punto de separación conveniente la correspondiente a poros que pierden o no pierden el agua cuando el suelo es sometido a una succión de 100 cm de columna de agua.


$$h = \frac{0,14898}{r}$$

De acuerdo a la relación de capilaridad: siendo h=100 cm, el radio equivalente (r) de los poros en el punto de separación sería 15μ.

#### ***4.2.5 Módulo de Ruptura***

La medición de la fuerza de cohesión entre las partículas cuando el suelo se seca, tiene interés por su relación con la resistencia a la roturación de suelo, la tendencia a formar terrones duros, la resistencia a rotulación de la costra, e incluso la resistencia mecánica a la extensión radicular (Pla Sentis, 1983).




	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

#### ***4.2.6 Movimiento y Retención de Agua en el Suelo***

El suelo actúa como un reservorio de agua que debe garantizar la suplencia a las plantas en las cantidades requeridas en los intervalos entre nuevos aportes de agua; esto se caracteriza a partir de la capacidad de retención. Para que esa función se pueda cumplir, es necesario en primer lugar que cada vez que haya aportes el agua, esta pueda penetrar en el suelo en las cantidades apropiadas, lo que se cuantifica a través de la velocidad de paso del agua a través de la superficie del suelo; y posteriormente distribuirse en la masa de suelo hasta la profundidad deseada; por otro lado, el desarrollo y actividad radicular de la mayoría de los cultivos exigen que el exceso de agua que penetre en el suelo sea eliminado a través del drenaje interno; estas dos últimas características se cuantifican a partir de la conductividad hidráulica del suelo (Pla Sentis, 1983).


La velocidad con que el agua penetra en el suelo depende además de las condiciones y propiedades físicas del suelo superficial, de la forma en que llega a dicha superficie el agua que va a percolar. Esto se aplica principalmente en caso de que el suelo no tenga ninguna cobertura en el momento de recibir el agua. Es por ello que, en estos casos, el método de determinación utilizado debe representar en lo posible las condiciones que se desean evaluar, tales como, condiciones de inundación en riego por gravedad, condiciones de lluvia, riego por aspersión o por goteo (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

La conductividad hidráulica ( $K_s$ ) se refiere a la velocidad con que el agua pasa a través de la masa del suelo por unidad de gradiente de carga hidráulica. Su determinación en condiciones de no saturación del suelo presenta numerosas dificultades prácticas. El valor de la conductividad hidráulica en condiciones de saturación depende de la porosidad del suelo, en especial de la proporción de poros con radio equivalente mayor de  $15 \mu$  que se mantienen abiertos en esas condiciones. Dicho valor tiene utilidad para cálculos e interpretaciones en relación al drenaje interno o eliminación del exceso de agua que penetra en el suelo (Pla Sentis, 1983).

Sobre la retención de agua en el suelo, gran parte del que utilizan las plantas es la que queda retenida en el suelo una vez que se pierde el exceso por drenaje interno y por acción de la gravedad. Dicha retención de agua está determinada tanto por las características intrínsecas del material de suelo, como por las condiciones de drenaje interno. La influencia de estas últimas, determinadas fundamentalmente por las propiedades hidráulicas del perfil de suelo, y por la profundidad del nivel freático, no puede apreciarse, sino con determinaciones de campo (Pla Sentis, 1983).

Una vez que cesan las pérdidas de agua por drenaje, parte del agua que queda es utilizable por las plantas, siguiendo un patrón de uso característico para cada combinación de suelo, planta y clima, pero que está determinado en gran parte por el flujo del agua en el suelo hacia las superficies absorbentes de las raíces. Por limitaciones en dicho flujo, se alcanza un punto


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

cuando ya el suelo es incapaz de suplir las demandas de la planta, o sea, que una parte del agua retenida se hace inutilizable. Otra parte del agua retenida se pierde por evaporación directa del suelo, lo cual también depende del flujo de agua desde cualquier parte del suelo a la superficie de evaporación en o cerca de la superficie del suelo (Pla Sentis, 1983).

Uno de los principales parámetros para caracterizar el agua retenida por el suelo es la Capacidad de campo en campo, que representa la máxima cantidad de agua que puede retener el suelo cuando se cesa y se hace inapreciable el movimiento descendente del agua, o en otras palabras, cuando cesan las pérdidas de exceso de agua por drenaje interno. Para alcanzar la capacidad de campo se presupone que penetra en el suelo una cantidad de agua por encima de dicha capacidad. El contenido de agua de un suelo a capacidad de campo está determinado tanto por las propiedades de retención de agua del material de suelo en si, como de las condiciones de drenaje interno del perfil de suelo. Las determinaciones también se pueden realizar en laboratorio mediante la metodología para obtener la curva característica de retención de agua del suelo a 0.1, 0.3, 1.0, 5.0 y 10.0 bar de tensión (Pla Sentis, 1983).

#### ***4.2.7 Problemas de Compactación Aireación***

Tanto la resistencia mecánica del suelo, con la aireación, son problemas que afectan e incluso determinan el desarrollo radicular de la gran mayoría de los cultivos. Con ello quedan afectadas otras funciones como son la utilización del agua y nutrientes del suelo. La

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


compactación del suelo y las condiciones de humedad son los que determinan ambos problemas. A su vez la compactación alcanzada en el suelo ya sea en condiciones naturales o con la intervención de prácticas de nivelación y laboreo, depende mucho de las condiciones de humedad en las cuales actúen ambos factores. Por ello, los métodos de diagnóstico deben tratar de evaluar la interacción de todos esos factores, en relación a los problemas planteados (Pla Sentis, 1983).

### **4.3 MARCO LEGAL**

La investigación se realizó bajo el contexto de:

#### ***4.3.1 Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo GIAS***

En él (GIAS, 2013) nos dice que *“El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático se considera en la política al dar prioridad a la protección de los suelos bajo cobertura arbórea y al promover la aplicación de la agricultura de conservación, en la cual se mantiene la cobertura vegetal en la superficie del suelo, se realiza mínima remoción de este y se establece una adecuada rotación de cultivos, permitiendo conservar la materia orgánica del suelo y reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>. La GIAS facilitará la adaptación al cambio climático aumentando el conocimiento público de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, las funciones y servicios ecosistémicos, especialmente las relacionadas con el*


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

*almacenamiento de gases efecto invernadero, regulación hídrica y climática, y promoviendo su uso y manejo sostenible en escenarios presentes y futuros bajo los efectos adversos de la alteración del clima.” Pág 40.*

También el (GIAS, 2013) nos dice que *“En la agricultura nacional predomina la labranza convencional del suelo, con preparación intensiva y alto tránsito de maquinaria (en menor grado, de animales de tiro) que conducen a erosión, daño en la estructura del suelo, reducción de la materia orgánica y del agua del mismo y a procesos de compactación, que además de afectar la producción de cultivos conllevan impactos ambientales en términos de contaminación por sedimentos, aumento en el uso de energía y de las emisiones de GEI.”* Pág 54.

#### **4.3.2 Política para la Gestión Sostenible del Suelo**

Según en la (Política para la gestión sostenible del suelo, 2016) nos indica que *“La pérdida de materia orgánica, trae como consecuencia la disminución de la actividad biológica y de las poblaciones de micro, meso y macroflora y tiene efectos negativos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos; adicionalmente, la mineralización de la materia orgánica (paso de formas orgánicas a minerales) genera CO<sub>2</sub> (principal gas de efecto invernadero) y nitratos con potencial contaminante de las aguas superficiales y profundas.”* Pág.23.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


Por otro lado la (Política para la gestión sostenible del suelo, 2016) nos menciona que significado tiene la pérdida de Materia Orgánica en suelos donde cita que *“La materia orgánica del suelo cumple funciones claves en las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo y su reducción conlleva efectos altamente negativos para la productividad de los cultivos, la biodiversidad, y en general para las funciones y servicios ecológicos de los suelos. La pérdida de la materia orgánica representa impactos ambientales negativos relacionados con la pérdida de la biota, disminución de la capacidad de retención de humedad y pérdida de la capacidad de mitigación del cambio climático por la disminución considerable de captura de carbono.”* Pág. 45.

#### **4.3.3 Protocolo de Kyoto**

En el (Protocolo de Kyoto, 1998) asevera que con el fin de promover el desarrollo sostenible en su Artículo 2 se busca la reducción de emisiones donde invita a *“investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales.”*

#### **4.4 MARCO HISTÓRICO**


A nivel nacional, se llega rápidamente a la conclusión que no existen investigaciones científicas y en general información que involucren el cultivo de la vides viníferas asociado a un manejo ambiental del suelo; solamente se ha generado información por parte del doctor

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Pedro José Almanza Merchán referentes al vides viníferas en el 2010, pero que no tienen mayor relevancia para la zona del Valle del Cauca, porque dichas investigaciones se llevaron a cabo en condiciones clima frio tropical.

Por otra parte, dando una mirada general de la viticultura tropical en el mundo, la industria brasilera se muestra como la más pujante. Ya en el año 2011 se contaba 83.700 hectáreas, entre 1.3 y 1.4 millones de toneladas al año, la gran mayoría para consumo interno, el zumo de uva de mesa es uno de los principales productos de exportación, dentro de los adelantos tecnológicos destacan la creación de nuevos cultivos, sistemas de manejo especialmente para las zonas tropicales y sistemas de certificación de productos (Camargo, Tonietto, & Hoffmann, Progressos na viticultura brasileira, 2011). A países como Brasil, se unen la India, Tailandia, Myanmar y Venezuela. La cosecha en otros países está muy definida, pero en regiones tropicales se pueden programar las cosechas para cualquier momento del año, lo que les confiere una particularidad a las características químicas, ya que algunos metabolitos difieren respecto al momento de la cosecha (Pereira, Masutti, Oliveira, & Cunha, 2015).

También, existe la viticultura tropical en otras regiones, pero no tienen el desarrollo de las ya mencionadas. Uno de estos casos es las islas del atlántico conocidas como micronesia, dentro de esta islas se localiza la isla de cabo verde que tiene una posición geográfica bastante particular por su latitud, 650 km al oeste de las costas africanas, 15° Norte de latitud, casi a la altura de la región de la Guajira en Colombia, en esta zona tropical es posible obtener vinos


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

de calidad, es una zona volcánica donde se producen vinos con notas minerales, tiene producciones a 1500m sobre el nivel del mar (Heras-Roger, Diaz-Romero, Darías-Martín, & Rios-Mesa, 2018).

Ahora bien, aunque existe un desarrollo de viticultura tropical en distintas zonas, y que se tiene certeza de la alta variabilidad de las cosechas y de los vinos en estas zonas como lo expresa Giuliano Elias Pereira, no se tiene información científica de peso en todas las zonas, el único país que desarrollado una estrategia investigativa para el entendimiento de los fenómenos de la viticultura tropical es Brasil, por lo tanto la mayor cantidad de información contenida en este estado el arte proviene de dicho país y en particular de la zona de Pretrolina en el Valle de San Francisco a una latitud de entre 8 y 9° Sur. También, es evidente el vacío de información en cuanto al manejo ambiental del suelo para el cultivo de la vid en zona tropical, ya que Brasil que es único país que ha desarrollado algunas investigaciones, no ha tocado el tema a fondo.


Desde 1977 Embrapa (**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria**) adjunta al ministerio de agricultura, pecuaria y abastecimiento y el principal actor en la generación de información. Logrando la adaptación de variedades de uva para vino mesa y jugo en Brasil, incluido la región tropical donde tiene un centro experimental en la ciudad de Petrolina, generando tolerancia a las principales plagas de la uva en Brasil, se evalúan anualmente cerca de 3000 híbridos de cruces entre cepas viníferas.



	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Estos elementos han posibilitado el desarrollo de variedades adaptadas a las condiciones del clima tropical de Brasil y sub tropical, los bancos de germoplasma cumplen una función importante en la evaluación de las características para la producción de vino, uva de mesa y jugo de 1000 accesos si se tiene en cuenta otros bancos distribuidos en Brasil, como resultado de este trabajo se han logrado llevar al ambiente comercial 18 variedades de uva de vino, en 2012 y 2013 se llevaron cuatro variedades a producción, 3 variedades de mesa y BRS Magna, una variedad para producción de jugos que tiene excelentes características en cuanto a dulzor y color (Ritschel, Maia, Camargo, Souza, & Fajardo, 2014).


También, se han desarrollado de estrategias para luchar contra las enfermedades fúngicas que atacan la variedades de uva cultivadas en Brasil, a partir del banco de germoplasma, donde han logrado obtener variedades resistentes a la mayoría de enfermedades, exceptuando mildiú veloso y antracnosis, se estima que el banco brasilero de germoplasma de uva tiene una incidencia sobre las principales enfermedades fúngicas que representa el 30% de los costos de producción (Camargo, Maia, Quecini, & Ritschel, 2014). Por otra parte, en este lugar se determinó los ciclos fenológicos de 43 especies cultivadas en zona tropical templado, el objetivo es atender las necesidades de ciclos productivos de diferentes regiones del país (Lorenzini, y otros, 2014).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Otro aspecto importante en la concepción de la viticultura tropical es el cambio climático, estudios sobre el cambio climático determinan que puede afectar las trece regiones que actualmente producen en Brasil, han llegado a la conclusión que habrá cambios significativos, algunas regiones caracterizadas como frías por el HI índice heliotérmico (que permite relacionar las horas luz efectivas y las temperaturas eficaces durante el periodo activo de vegetación, con la actitud vitivinícola de una zona determinada), tienden a desaparecer para el 2050 y en general se pronostica que de seguir la dinámica de cambio en el clima a nivel mundial, aumentaran los problemas fitosanitarios de los viñedos (Tonietto, Conceicao, & Evangelista, 2016).

Otro estudio realizado también en Brasil habla sobre el impacto que tiene sobre la producción el aumento de temperatura y disminución de las lluvias proyectadas, lo cual concluye que la disminución de las lluvias mejorará la calidad de los vinos, siempre y cuando se tenga capacidad de riego, por otra parte el aumento de la temperatura afecta la estabilidad de los viñedos en especial para la poda realizada de noviembre a marzo (Heriberto, y otros, 2014).

Complementando, este fenómeno no solo es un problema de las zonas tropicales, otro estudio realizado por (Jarvis, Darbyshire, Eckard, Goodwin, & Barlow, 2017) señala cómo se afectan las cosechas australianas debido a fenómenos como el del niño y el aumento de temperatura del mar, sobre las cosechas de uvas para vino en Australia, el estudio sugiere que el mayor impacto se da en el austral primaveral, y que conocer estos fenómenos ayuda a


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

planificar mejor las cosechas. En otras zonas del mundo se pronostica necesario ir corriendo los viñedos hacia latitudes más cercanas a los polos para contrarrestar el efecto del aumento en las temperaturas globales.

De acuerdo con (Miko, 1995), con el incremento de 1°C, la pérdida del COS en climas con temperatura media ambiental de 5°C es 300 veces mayor que en suelos con temperatura de 30°C, esto porque en clima frío el suelo contienen mayor CO. Así mismo, concluye que el contenido de COS disminuye con el calentamiento global.


Con base en la información publicada por la Secretaria de Ambiente, Agricultura y Pesca de la gobernación del Valle del Cauca (Figura 1) se concluye que el área sembrada cada año está disminuyendo, y por comunicación de los productores se sabe que algunos productores están eliminando sus cultivos. De otro lado, productores están cambiando sus cultivos de uva Isabela a cultivos de uva de mesa o variedades sin semilla, cultivos que están aumentando su área sembrada y que ya están exportando sus productos.

Por lo tanto, la presente investigación tiene como finalidad principal la construcción de conocimiento sobre el manejo ambiental de suelos a través de la incorporación de materia orgánica y la captura de carbono orgánico en suelos de producción de uvas y vinos en Colombia.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

## 5. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se plantea realizar es experimental; en efecto la investigación se llevará a cabo en lotes experimentales de la empresa Casa Grajales, bajo un diseño experimental que permite analizar el efecto de la aplicación e incorporación de la materia orgánica sobre las condiciones hidráulicas del suelo y sobre la captura de carbono orgánico, con el fin de proveer al futuro cultivo de uva de las mejores condiciones de fertilidad física.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

Para llevar a cabo la investigación se plantea realizar las determinaciones mediante la *“Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales”* del autor (Pla Sentis, 1983) que ha mostrado ser de fácil implementación, que no dependen de equipos sofisticados y que permiten caracterizar el suelo de manera efectiva. Los métodos expuestos a continuación permiten:


### 6.1. DIAGNOSTICAR LA COMPOSICIÓN MECÁNICA DEL SUELO, LA PLASTICIDAD Y EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA.

#### *12.1.1 Distribución de Tamaño de Partículas o Textura*

Para determinar la textura del suelo se tendrá en cuenta lo siguiente:

#### **Reactivos:**

- a) Calgón (metafosfato de sodio) al 10% en agua, con suficiente carbonato de sodio para llevar el pH a 8.3

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Material y equipo:**


- a) Juego de tamices e 0.05, 0.10, 0.25, 0.5, 1.0 y 2.0 mm.
- b) Hidrómetro estándar, ASTM No. 152H (CL-272 Soiltest Inc.).
- c) Cilindro granulado de un 1000cc.
- d) Vasos de precipitados de 600cc.
- e) Termómetro.
- f) Latas de Al o latón.
- g) Agitador manual, compuesto de un círculo de metal (2 mm de grueso, y 5.5 cm de diámetro), en cuyo centro se acopla en forma vertical una varilla metálica de 50 cm de largo y alrededor de 5 mm de diámetro.

**Procedimiento:**

Calibre el hidrómetro introduciendo cuidadosamente y tomando una lectura en un cilindro donde se han colocado 50 cc de Calgón al 10%, completando hasta 1000cc con agua destilada. La lectura tomada en el sitio donde el borde superior del menisco rodea la escala del hidrómetro es L0 (Pla Sentis, 1983).

Pase 200 gr de suelo seco al aire y triturado con un rodillo de madera, por un tamiz de 2 mm.

Recoja lo que queda sobre el tamiz y pese. Dicho peso es (a) (Pla Sentis, 1983).


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Pese 40 gr del suelo que ha pasado por el tamiz de 2 mm, seque en estufa por 24 horas a 105°C, y vuelva a pesar. Dicho peso es (b) (Pla Sentis, 1983).

Transfiera otra fracción de 40 gr del suelo tamizado a un vaso de precipitado de 600 cc y agregue 50 cc de Calgon al 10% y alrededor de 400 cc de agua destilada. Espere 15 minutos y transfiera la suspensión, recogiendo bien los residuos que quedan, aplicando agua destilada con una pipeta, al vaso del mezclador eléctrico. Ponga a funcionar el agitador, y deje mezclando la suspensión por 10 minutos. Cumplido esto, transfiera la suspensión, recogiendo todos los residuos, al cilindro de sedimentación. Complete el volumen a 1000 cc con agua destilada (Pla Sentis, 1983).

Introduzca el agitador manual, y muévelo cuidadosamente 20 veces en forma vertical, desde el fondo al tope de la suspensión. Saque el agitador, y anote inmediatamente la hora. Si forma espuma en la superficie, agregue unas gotas de alcohol amílico. Introduzca cuidadosamente el hidrómetro, y tome la lectura (L1) en el momento en que hayan transcurrido 30 segundos desde la anotación inicial al sacar el agitador manual. Sin sacar el hidrómetro, tome otra lectura al cumplirse 1 minuto (L2) desde la anotación inicial de la hora. Introduzca cuidadosamente el termómetro, y lea la temperatura (Pla Sentis, 1983).

Si se necesita para otros cilindros, en este momento se puede sacar el hidrómetro procurando agitar la suspensión lo menos posible, y limpiarlo con cuidado. Posteriormente, y sin volver

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

a mezclar la suspensión, se tomarán lecturas a los 3, 10, 30, 90, 270 y 720 minutos (L4, L5, L6, L7 y L8) contados a partir del momento en que se extrajo el agitador manual. En cada caso, unos segundos antes de cumplirse el tiempo especificado para cada lectura, se introduce el hidrómetro, se hace la lectura y se lee la temperatura. En caso de que no puedan hacerse las lecturas en los tiempos especificados, debe anotarse el tiempo transcurrido hasta el momento en que se haga la lectura (Pla Sentis, 1983).


Al completar las lecturas con el hidrómetro, transfiera el contenido del cilindro al juego de tamices de 1, 0.5, 0.25, 0.1, 0.05 mm, colocados de arriba abajo en ese orden, forzando con agua de una pipeta el paso de las partículas con diámetro inferior al de los huecos de cada tamiz, hacia los tamices que siguen. Una vez hecho esto, sobre cada tamiz quedaran las diferentes fracciones de arena, las cuales se deben recoger individualmente en latas, secar en estufa a 105°C y pesar. Dichos pesos son A1, A2, A3 y A5 desde el tamiz de 1 mm al de 0.05 mm, respectivamente (Pla Sentis, 1983).

**Tabla 2**

*Cálculos para Diámetro Medio Ponderado del Suelo*

% Esqueleto grueso (>2mm) = 20 a/b	$d(\mu)$	P
% Partículas 1-2 mm = 100 A1/b	<2000	1000
% Partículas 0.5-1 mm = 100 A2/b	<1000	$1\left(1 - \frac{A_1}{b}\right)$



	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

% Partículas 0.25-0.5 mm = 100 A3/b	<500	$1\left(1 - \frac{A_1 + A_2}{b}\right)$
% Partículas 0.1-0.25 mm = 100 A4/b	<250	$1\left(1 - \frac{A_1 + A_2 + A_4}{b}\right)$
% Partículas 0.05-0.1 mm = 100 A5/b	<100	$1\left(1 - \frac{A_1 + A_2 + A_4 + A_5}{b}\right)$

Fuente: (Pla Sentis, 1983)

Para cada lectura (L1, L2, ....., Ln):

C= concentración de la suspensión en gm/L = L<sub>n</sub>-L<sub>n</sub>

P= porcentaje acumulativo = 100 c/b

Diámetro equivalente de partículas correspondientes a cada lectura = d (micras) =  $\theta/\sqrt{t}$


$\theta$ = parámetro correspondiente a cada lectura (L1, L2, ....., Ln).

t = tiempo de sedimentación en minutos.

Los valores deben tabularse así:

T    L     $\theta$     °C     $\eta$     L-L<sub>n</sub>    P    d( $\mu$ )

Los diferentes valores de *d* y P, tanto los correspondientes al tamizado como a la sedimentación se relacionan en un gráfico dibujado en papel semilogarítmico de cuatro ciclos, con los valores de *d* en la escala logarítmica (Pla Sentis, 1983).

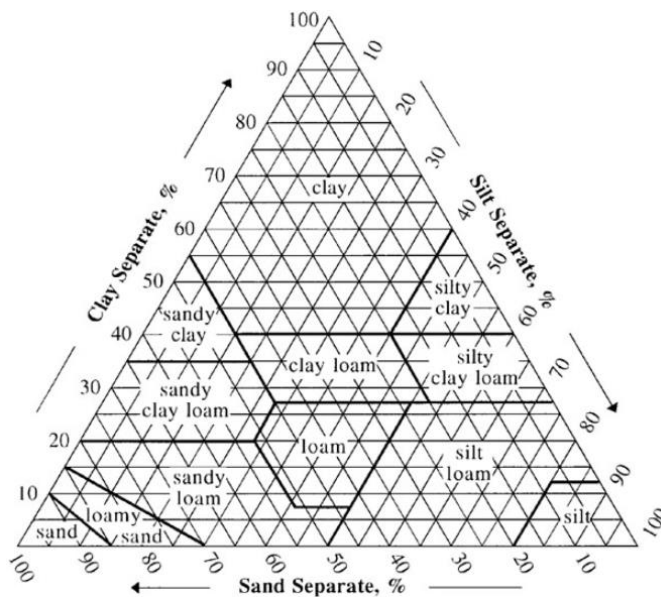
	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

En estas curvas se pueden obtener por interpolación los porcentajes en peso de partículas con diámetro equivalente comprendido entre los límites que se deseen. Por ejemplo, en muchos casos para interpretar algunos problemas en relación a estabilidad estructural, orientación de partículas y erosión, se requiere conocer la proporción de las diferentes fracciones del limo y arena (Pla Sentis, 1983).


Para la simple clasificación textural de acuerdo a los límites del sistema norteamericano, usado en el país, con los porcentajes obtenidos en el grafico correspondiente a los intervalos de diámetro de 2 mm, 50 $\mu$  - 2 $\mu$  (limo y < 2 $\mu$  (arcilla), se ve el triángulo de clasificación textural (Figura 2) (Pla Sentis, 1983).

**Figura 2**

*Triángulo de Clasificación Textural*



Fuente: (Soil Survey Staff., 2014)

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

### *12.1.1 Límites de Plasticidad*


#### **Límite inferior de plasticidad**

#### **Material y equipo:**

- a) Lamina de vidrio.
- b) Balanza.
- c) Lata.
- d) Estufa.

#### **Procedimiento:**

Humedezca 15-20 gramos de suelo triturado y pasado por un tamiz de 2 mm, y forme una bola. Haga rodar la bola sobre una lámina de vidrio, hasta formar un rollo de suelo de alrededor de 3 mm de diámetro. Vuelva a formar una bola y repita el proceso hasta que el suelo comience a resquebrajarse cuando el rollo alcance el diámetro aproximado de 3 mm. En la misma forma se obtienen otros rollos. Al lograr el punto final se pesa el rollo de suelo y se seca en estufa a 110°C, y se vuelve a pesar, calculando el % de humedad (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

## **Límite superior de plasticidad**


### **Material y equipo:**

- a. Equipo para límite superior de plasticidad (ASTM D-428 Soiltest CL-207).
- b. Balanza.
- c. Lata.
- d. Estufa.

### **Procedimiento:**

Humedezca alrededor de 150 gr de suelo triturado y pasado por un tamiz de 2 mm, hasta obtener una masa fácilmente moldeable. Coloque una porción de ella en el fondo de la copa del aparejo mecánico, hasta alcanzar un espesor máximo sobre el fondo de alrededor de 1 cm. Alise la superficie, y con la cuchilla del aparejo corte un surco en sentido longitudinal de tal manera que queden descubiertos alrededor de 2 cm del fondo de la copa (Pla Sentis, 1983).

Una vez logrado esto, se le da vueltas a la manivela del aparejo, a una velocidad de alrededor de dos revoluciones por segundo, hasta lograr que se cubra con suelo, alrededor de 1 cm del fondo del surco. Si esto se logra después de un número de revoluciones o golpes comprendido


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

entre 12 y 38, se toma una muestra del sitio donde el suelo cubrió el fondo del equipo, se pasa a una lata, se pesa y se seca a 110°C en estufa. Repetir el proceso hasta tener al menos dos valores por encima y por debajo de 25 golpes. Esto se logra agregando más suelo (si se quieren valores más altos) o más agua (para valores más bajos) a la masa que se prepara antes de colocarla en la copa. En cada caso, después de secar, calcule el porcentaje de humedad (Pla Sentis, 1983).

Graficar los datos obtenidos con los porcentajes de humedad en escala lineal en el eje Y, y el número de golpes en escala logarítmica en el eje X. Por interpolación determine la humedad del suelo para 25 golpes, valor que representa el límite superior de plasticidad o límite líquido (Pla Sentis, 1983).

### **Interpretación:**

(Pla Sentis, 1983) indica que “diferencias entre los límites superior e inferior de plasticidad superior al 10% de humedad indican la presencia de un contenido y tipo de arcilla que le da una alta plasticidad al suelo. Rangos de 5-10 % de humedad entre los límites, indican moderada plasticidad y menores de 5% baja plasticidad”.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


### *12.1.1 Contenido de Materia Orgánica del Suelo*

La MO se cuantificará por el método LOI o de calcinación; en este (Schulte & Hopkins, 1996), plantean pesar 5 g de muestra en crisoles de 15 mL, posteriormente colocarlos en estufa durante 24 h a 105°C. Las muestras se enfrían en desecador y se pesan (Pla Sentis, 1983). Luego se colocan durante 2 h en una mufla a 360°C, posteriormente se transfieren a un desecador y después de enfriarse se registra su peso nuevamente. El cálculo de MO se realiza por diferencia de peso en las distintas temperaturas, de acuerdo con:

$$MO = \frac{(M_{105^{\circ}C} - M_{360^{\circ}C})}{M_{105^{\circ}C}} * 100\%$$

## **6.2. DIAGNOSTICAR LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES Y LA DINÁMICA ESTRUCTURAL DEL SUELO SUPERFICIAL**

Las propiedades que definen las condiciones estructurales del suelo y la dinámica estructural del suelo superficial son la densidad aparente, la porosidad, el módulo de ruptura, el porcentaje de agregación, la distribución de agregados estables al agua y la estabilidad de los agregados frente al golpe de gotas (Pla Sentis, 1983). En adelante se presentan los métodos a seguir en la investigación:

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

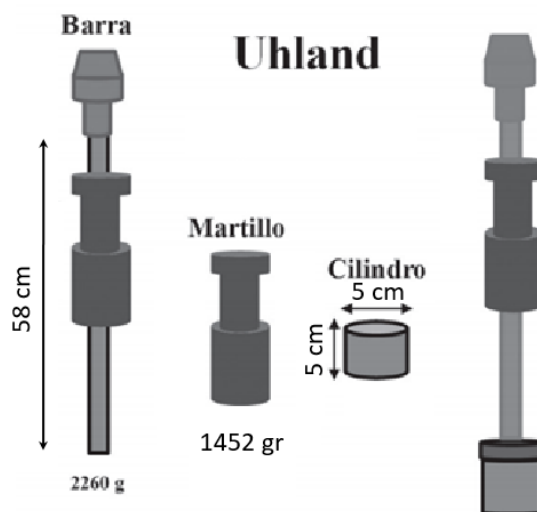
### 6.2.1 Densidad Aparente

#### Muestreo:


Tome un cilindro de acero inoxidable (núcleo), péselo (Mc) y determine su diámetro interno (D) y altura (h). En campo, coloque el cilindro en el equipo muestreador tipo Uhland (Figura 3). Apoye el borde del cilindro sobre el suelo a muestrear y mediante el uso de la masa, entierre el cilindro hasta verificar, a través de los visores del muestreador, que el cilindro está lleno de suelo. Retire el muestreador y con ayuda de un cuchillo elimine el suelo de los alrededores del cilindro y extráigalo con cuidado de que parte del suelo de la parte interna del cilindro se salga. Elimine el material sobrante del cilindro (enrase) (Pla Sentis, 1983).

#### **Figura 3**

*Muestreador Uhland*



Fuente: (Américo, García, & Guerra, 2013)

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Determinaciones:**

Tomo el cilindro con la muestra y péselo ( $M_{sh+c}$ ). Luego, déjelo en el horno a  $105^{\circ}\text{C}$  por 24 h, y vuelva a pesarlo ( $M_{ss+c}$ ), determine el peso del cilindro vacío, finalmente haga la relación entre la masa de suelo seco [ $(M_{ss}-M_c)$ ] y el volumen interno del cilindro, el valor calculado corresponde a la densidad aparente del suelo (Pla Sentis, 1983).


**Cálculo:**

$$Da = \frac{(M_{ss} - M_c)}{\frac{\pi * D^2 * h}{4}}$$

**Interpretación:**

Los simples valores de  $Da$  no permiten comparaciones de unos suelos con otros, pues independientemente de la compactación los suelos con textura más livianas suelen dar valores más altos. En general, los valores de  $Da$  en forma aislada solo deben utilizarse para seguir la evolución de la compactación en un mismo suelo. Pueden considerarse altos aquellos superiores a 1,3 en suelos de textura fina (arcillosa o franco arcilloso), a 1,4 en suelos de textura media (francos a franco limosos), y a 1,6 en suelos de textura gruesa (franco arenoso) (Pla Sentis, 1983).



	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


### 6.2.2 Porosidad [Mesa de Tensión]

#### **Material y equipo:**

- a) Toma muestras tipo Uhland, con cilindros.
- b) Espátula mediana de metal.
- c) Caja para transportar intactos los cilindros al laboratorio.
- d) Bandeja.
- e) Malla de liencillo y banditas de goma.
- f) Balanza con apreciación de 0.1 gr.
- g) Mesa de tensión. Puede utilizarse un plato de porcelana de los usados en la olla de presión, conectado en la salida del agua a un tubo de goma de 0.5 cm de diámetro y algo más de 1 cm de largo. El plato debe ir colocado sobre una mesa de más de 1 m de alto, con bordes laterales y tapa que permita cubrir el plato y los cilindros. Cobre la superficie de la mesa, y por debajo del plato debe colocarse un papel secante, el cual se mantiene saturado con agua.

#### **Procedimiento:**

Colocar en el extremo inferior de cada cilindro una cubierta de liencillo amarrada con una bandita de goma. Ponerlo a saturar por capilaridad en una bandeja con agua que alcance hasta

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

1 cm por encima del fondo del cilindro. Una vez que los cilindros de suelo están saturados con agua (superficie superior del cilindro con aspecto brillante), llevar los cilindros a la mesa de tensión previamente saturada y dejarlos por 3 horas, tomar su peso (a) y colocarlos nuevamente en la mesa de tensión. Con los cilindros en la mesa de tensión, bajar la salida de agua de la mesa de tensión a 100 cm y mantener la tapa de la mesa colocada para evitar pérdidas por evaporación (Pla Sentis, 1983).


Cuando los cilindros tengan su peso constante en 2 o 3 pesadas consecutivas (lo que se alcanza en aproximadamente 48 horas) extraerlos y confirmar su peso (b). Extraer el suelo del interior del cilindro con un disco de diámetro inferior al cilindro y secarlo a 50°C por 48 h, pesar cada cilindro (d) y conservarlo para luego determinar el módulo de ruptura. Pesar por aparte cada cilindro vacío, la cubierta de liencillo y la bandita de goma (c) (Pla Sentis, 1983).

**Cálculos:**

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

$$Porosidad\ total = \frac{c - (c + d)}{V} * 100\%$$

$$Porosidad\ de\ Radio\ equivalente\ a\ 15\mu = \frac{(a - b)}{V}$$

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

$V = \text{volumen interno del cilindro}$


### **Interpretación:**

Los valores de porosidad de radio equivalente  $>15\mu$ , si permiten, además de interpretar con mayor precisión el efecto de compactación en un suelo, comparar diferentes suelos. Aunque nunca es conveniente establecer valores límite, sin pecar de arbitrarios, se puede señalar que en condiciones donde no se pueden controlar los aportes de agua al suelo (agricultura de secano) y dichos aportes son concentrados e irregulares, valores de porosidad con  $r>15\mu$  menores de 10% suelen acarrear problemas. Con aportes controlados de agua (riego) dicho valor límite podría bajarse a 6-8 % (Pla Sentis, 1983).

### ***6.2.3 Módulo de Ruptura***

#### **Material y equipo:**

- a) Cilindros de suelos provenientes de la determinación de porosidad.
- b) Regla graduada.
- c) Aparejo para la medición (“Unconfined Compresión Aparatus”. Modelo U-160-Cenco Instruments Corp. U.S.A.) con anillos para 250 y 500 libras.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


**Procedimiento:**

Tome el cilindro del suelo seco a 50°C y mida la longitud (L) y diámetro (D). Coloque en forma horizontal sobre el plato inferior del aparato para la medición. Dándole vueltas a razón de una vuelta por segundo, empiece a aplicar presión con el plato superior, hasta que la fuerza (F) sea capaz de romper el cilindro del suelo a lo largo de un plano vertical que pasa por su eje. Al ocurrir esto, la aguja de indicador se devuelve bruscamente. Anote la lectura máxima obtenida antes del descenso brusco. Si la lectura pasa de 900 con el anillo de 250 libras, debe usarse el anillo de 500 libras (Pla Sentis, 1983).

Con la lectura obtenida, y el gráfico de calibración del aparato se obtiene el valor de F en libras.

**Cálculos:**

$$\text{Módulo de ruptura } \left( \frac{Kg}{cm^2} \right) = \frac{0.91 * F}{D * L}$$

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Interpretación:**

Aunque también la generalización es conveniente, podemos adelantar que valores del módulo de ruptura por encima de 32 Kg/cm<sup>2</sup> pueden señalar posibles situaciones problemáticas en relación a los efectos de la alta cohesión en seco (Pla Sentis, 1983).


***6.2.4 Porcentaje de Agregación***

**Reactivos:**

- a) Calgon al 10 % en agua con carbonato de sodio para llevar el pH a 8.3.

**Material y equipo:**

- a) Tamices de 2 y 4 mm.
- b) Pipeta automática de 25 cc con llave de doble paso, conectada a una bomba de vacío y montada en un soporte que permita el movimiento descendente y ascendente de ella.
- c) C. Mezclador eléctrico del tipo usado para la agitación de muestras en análisis mecánico.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


- d) Cilindro de un litro, con un diámetro tal que la marca de 1000 cc se halle a  $36 \pm 2$  cm del fondo.
- e) Termómetro.
- f) Latas.

**Procedimiento:**

Utilizando los tamices de 2 y 4 mm separe alrededor de 100 gr de agregados de 2-4 mm del suelo seco al aire. Pese 30 gr de dichos agregados y transfíeralos de una vez al cilindro de un litro, al cual previamente se habían vertido alrededor de 800 cc de agua destilada. Una vez agregado el suelo, se completa el volumen hasta el enrase con agua destilada. Después de reposar por alrededor de 15 minutos, se toma la temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ ) y se comienza a agitar de arriba a abajo, tapando la boca con la palma de la mano y viendo un reloj, 10 veces (20 movimientos) en el intervalo aproximadamente un minuto (Pla Sentis, 1983). Luego se deja reposar el cilindro sobre el mesón, y al cabo de un tiempo en segundos ( $t$ ):

$$t = 41 + (25 - T^{\circ}\text{C})$$

Se introduce la pipeta a 10 cm de profundidad, y aplicando succión se toma una muestra de 25 cc de la suspensión. Esta muestra es transferida a una lata, secada a  $105^{\circ}\text{C}$  y pesada ( $a$ ).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

El peso (a) representa las partículas o agregados con diámetro equivalente menor de 50 micras que se han separado de los agregados (Pla Sentis, 1983).


Otra fracción de 30 gr de los agregados de 2-4 mm es dispersado con Calgon y agitación, siguiendo el mismo procedimiento descrito para distribución de tamaño de partículas. El material dispersado se coloca en un cilindro como el anterior, se completa a un litro con agua destilada, agitándose y tomando una muestra de 25 cc siguiendo el mismo procedimiento. El peso después de secar a 105°C (b) representa el total de partículas con diámetro equivalente inferior a 50 μ presentes en los agregados. Esta determinación debe hacerse por triplicado (Pla Sentis, 1983).

**Cálculos:**

$$\%Agregación = \frac{(b - a)}{b} * 100\%$$

**Interpretación:**

Los valores obtenidos solo son relativos, y nos sirven para comparar diferentes suelos, o tratamientos, en cuanto a la resistencia a la desintegración de agregados con separación de fracciones finas con el simple humedecimiento. En general, valores menores de 70% indican una débil estabilidad frente al humedecimiento (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

### *6.2.5 Distribución de Agregados Estables al Agua*

#### **Reactivos:**

- a) Calgon al 10% en agua con carbonato de sodio para llevar el pH a 8.3.


#### **Material y equipo:**

- a) Juego de tamices de 2, 1 0.5 y 0.1 mm de aproximadamente 10 cm de diámetro.
- b) Soporte para el conjunto de los cuatro tamices.
- c) Equipo de Yoder.
- d) Latas.
- e) Estufa.
- f) Balanza.
- g) Agitador de los usados para análisis mecánico.

#### **Procedimiento:**

Coloque el juego de tamices del equipo de Yoder en orden de arriba a abajo 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.1mm, en el soporte sumergido en agua, de tal manera que el nivel del agua llegue exactamente al fondo del tamiz superior de 2mm (Pla Sentis, 1983).




	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Separe del suelo seco al aire, mediante tamizado, 200 gr de agregados de 2-4mm. Pese 30 gr de ellos y séquelos en estufa a 110°C por 24 h, y vuelva a pesar (a) (Pla Sentis, 1983).

Coloque otros 30 gr de agregados secos al aire, esparciéndolos cuidadosa y uniformemente, sobre el tamiz de 2mm del equipo de Yoder. No pretenda mover o redistribuir los agregados una vez colocados sobre el tamiz. Deje que se humedezcan por capilaridad durante 30 minutos. Al cabo de ese tiempo se inicia el agitado dentro del agua por 10 minutos, con movimientos ascendentes y descendientes de 3-5 cm, 30-40 veces por minuto (Pla Sentis, 1983).

Separe los tamices, y el suelo que queda en cada tamiz páselo a una lata, previamente pesada, aplicando agua a presión con una pipeta por la parte posterior del tamiz. Deje sedimentar por media hora y elimine el sobrenadante, y coloque la lata a secar a 110°C por 24 h en estufa. Una vez seco se pesa el suelo recogido en cada lata {b(2-4mm); b(1-2mm); b(0.5-1mm); b(0.1-0.5mm)}, el cual representa los agregados y partículas de arena con diámetros comprendidos entre 2-4 mm (tamiz de 2 mm); 1-2mm (tamiz de 1 mm); 0.5-14 mm (tamiz de 0.5mm); y 0.1-0.5 mm (tamiz de 0.1 mm) (Pla Sentis, 1983).

Después de pesar, se agregan unos 100cc de agua y 10cc de solución de Calgon al 10% a cada lata, se deja reposar por unos 15 minutos, y se transfiere el contenido al frasco de

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

agitación, donde se agita la suspensión por unos 10 minutos usando a agitador de análisis mecánico (Pla Sentis, 1983).

Una vez cumplida la agitación, se hace pasar cada suspensión por el mismo tamiz en el cual quedo retenido el suelo, aplicando agua a presión con una pipeta para remover todas las partículas con diámetro inferior al de los huecos del tamiz. Lo que queda en cada tamiz se recoge en una lata, se seca a 110°C y se pesa {c(2-4mm); c(1-2mm); c(0.5-1mm); y c(0.1-0.5mm)}. Estos pesos representan las partículas de arena con diámetros comprendidos entre 2-4mm; 1-2mm; 0.5-1mm y 0.1-0.5mm; retenidas en cada tamiz. Así, restando de los valores de (b) los correspondientes valores de (c) se obtienen los pesos de agregados estables en cada fracción {d(2-4mm); d(1-2mm); d(0.5-1mm); y d(0.1-0.5mm)}. Estas determinaciones deben hacerse por triplicado (Pla Sentis, 1983).

**Cálculos:**


$$d = b - c$$

**Tabla 3**

*Estabilidad de Agregados*

<b>Intervalo</b>	<b>Diámetro Medio Tamiz</b>
2-4mm	3,00mm
1-2mm	1,50mm
0,5-1mm	0,75mm
0,1-0,5mm	0,30mm

Fuente: (Pla Sentis, 1983)

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Diámetro medio ponderado de agregados estables en el agua:

$$DMP = \frac{3d(2-4mm) + 1.5d(1-2mm) + 0.75d(0.5-1mm) + 0.30d(0.1-0.5mm)}{b(2-4mm) + b(1-2mm) + b(0.5-1mm) + b(0.1-0.5mm)}$$

Agregados de 2-4 mm estables en agua en % (% AE 2-4 mm) =  $d(2-4mm) / a - c(2-4mm)$ .


$$\% AE > 1mm = \frac{d(2-4mm) + d(1-2mm)}{a - [c(2-4mm) + c(1-2mm)]}$$

$$\% AE > 0.5mm = \frac{d(2-4mm) + d(1-2mm) + d(0.5-1mm)}{a - [c(2-4mm) + c(1-2mm) + c(0.5-1mm)]}$$

$$\% AE > 0.1mm = \frac{d(2-4mm) + d(1-2mm) + d(0.5-1mm) + d(0.1-.05mm)}{a - [c(2-4mm) + c(1-2m) + c(0.5-1mm) + c(0.1-0.5mm)]}$$

**Interpretación:**

Cuando se están comparando diferentes situaciones y tratamientos dentro de un mismo suelo, obviamente valores más bajos de DMP o de % en los diámetros mayores, señalan un deterioro de la estabilidad estructural. Sin embargo, este método se usa más para comparar diferentes suelos, y dentro de los tamaños de agregados utilizados en el procedimiento, se consideraría como situación más favorable un suelo con valores más altos de DMP, especialmente si están por encima de 0.5 mm, o con valores más elevados de % AE de diámetro superior a 1mm.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

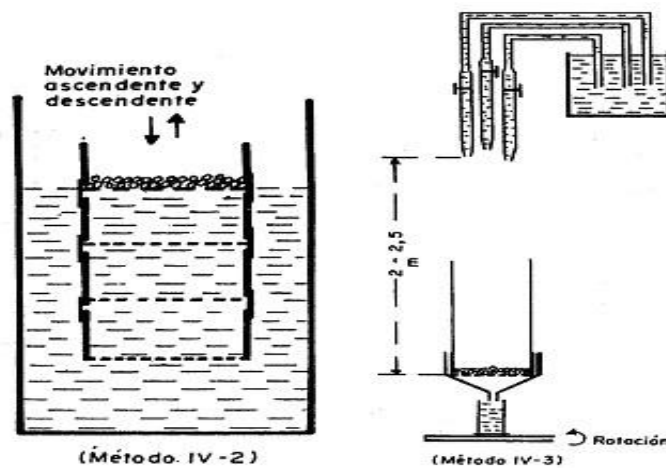
Desde el punto de vista de susceptibilidad a pérdidas de suelo por erosión, está será menor cuando mayor sea el %AE de diámetro > 2mm (Pla Sentis, 1983).

### 6.2.6 Estabilidad de Agregados Frente al Impacto de las Gotas

En muchas ocasiones, y especialmente cuando en condiciones de campo el suelo sin cobertura va a estar sometido al impacto de gotas de lluvias intensas, es muy importante conocer el efecto de dicho impacto sobre el deterioro estructural. Como dicha destrucción de la estructura se va a manifestar fundamentalmente en disminución de la tasa de infiltración del agua, limitada por la conductividad hidráulica de la costra que se forma, y a su vez ese efecto de la destrucción es el más importante, el método propuesto nos mide precisamente un índice que refleja ese fenómeno (Pla Sentis, 1983).

#### Figura 4

*Montaje para determinar estabilidad de agregados del suelo*



Fuente: (Pla Sentis, 1983)

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Material y equipo:**


- a) Simulador de lluvia con base rotatoria y altura de formación de gotas de 2-2.5 m por encima del suelo que va a recibir el impacto.
- b) Embudo Buchner con regla graduada, papel filtro y probeta plástica de 100 ml.
- c) Probetas de 100 cc.
- d) Cronómetro.

**Procedimiento:**

Calibre la intensidad de lluvia a aplicar ( $90 \text{ mm.h}^{-1}$ ). Para ello debe medirse el volumen de agua que aplica el simulador en un tiempo determinado, y el área interna del embudo Buchner (Pla Sentis, 1983).

Coloque el papel filtro en el fondo del embudo Buchner y sobre este deposite una capa uniforme, de 1 cm de espesor, de agregados de 2-4 mm del suelo seco al aire (Pla Sentis, 1983).

Arranque la base rotatoria, deje que las gotas caigan sobre la muestra de suelo e inicie el conteo de tiempo con el cronometro. Determine el tiempo de inicio de la percolación, y en adelante, cada cierto tiempo se mide el volumen de agua percolada en un tiempo determinada.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Esos intervalos de tiempo que pueden ser de dos minutos al inicio, pueden alargarse posteriormente hasta diez minutos, siempre que el agua percolada no sobrepase el volumen de la probeta. Por observación directa sobre el suelo, también debe anotarse el tiempo de inicio del encharcamiento (Pla Sentis, 1983).

Al cabo de 60 minutos se retira la muestra de suelo, y se coloca a secar al aire; finalmente se comprueba nuevamente la calibración de la intensidad del simulador. Esta determinación debe llevarse a cabo por duplicado, y por lo menos con dos intensidades de aproximadamente 30 y 90 mm/hora (Pla Sentis, 1983).

### Cálculos:


Para cada intervalo de tiempo desde que se inicia la percolación:

$$LC = \text{Lámina caída en el intervalo } t \text{ (mm)} = \text{Intensidad} \left( \frac{\text{mm}}{\text{h}} \right) * \frac{t(\text{min})}{60}$$

$$LP = \text{Lámina percolada en el intervalo } t \text{ (mm)}$$

$$= \frac{\text{Volumen percolado en } t \text{ (cm}^3\text{)} * 10}{\text{Área de embudo (cm}^2\text{)}}$$

$$LCA = \text{Lámina caída acumulada (mm)} = \text{Suma de las láminas caídas en la prueba}$$

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

$LPA = \text{Lámina percolada acumulada (mm)}$

$= \text{Suma de las láminas percoladas en la prueba}$

$i = \text{Gradiente hidráulico en el intervalo } t$

$$= \frac{LCA - LPA + \text{Espesor capa suelo (mm)}}{\text{Espesor capa suelo (mm)}}$$


$$Ks = \text{Conductividad hidráulica en intervalo } t = \frac{LP(mm)}{i * t(h)}$$

$t = \text{duración de la prueba}$

Construir la gráfica de la conductividad hidráulica en función del tiempo, con el fin de verificar el proceso de destrucción de los agregados a través de la variación de los valores de  $Ks$  (Pla Sentis, 1983).

### **Interpretación:**


Para la interpretación de los resultados de esta determinación, desde un punto de vista relativo, y para una determinada intensidad de lluvia, se tiene que conforme la estabilidad de agregados frente al impacto de gotas de lluvia sea menor, así mismo será el tiempo en el que se presente acumulación de exceso de agua en la superficie, y menor será el valor de  $Ks$  de

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

la costra al cabo de determinado tiempo, por el contrario, el tiempo a percolación puede ser mayor (Pla Sentis, 1983).

Desde un punto de vista absoluto aun siendo imposible como siempre establecer límites rígidos, podríamos señalar que, para nuestras condiciones climáticas, y en suelos ocupando tierras planas, para intensidad de 90 mm/hora, el encharcamiento antes de los 10 minutos y valores de  $K_s < 5\text{mm/hora}$  antes de los 20 minutos, indican situaciones problemáticas. En caso de suelos en zonas de pendiente, donde el exceso de agua provoca escorrentía y erosión, la situación problemática para intensidad de 90 mm/hora, correspondería a menos de 10 minutos para encharcamiento y  $K_s < 20\text{ mm/hora}$  a los 20 minutos (Pla Sentis, 1983).




	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

### **6.3. DIAGNOSTICAR LA PENETRACIÓN Y CIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO (INFILTRACIÓN CON ANILLO, BOTELLA DE MARIOTTE Y LLUVIA SIMULADA; CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN SUELO SATURADO CON CARGA CONSTANTE E ÍNDICE DE SELLADO).**

#### **6.3.1 *Infiltración en Cilindro***

##### **Material y equipo:**

- a) Cilindros de hierro galvanizado u otro metal resistente de 25-30 cm de diámetro, y 30-40 cm de altura, reforzados en su borde superior, y con un borde inferior cortante.
- b) Tabla de 30-40 cm de largo, 8-10 cm de ancho y 2-3 cm de grueso.
- c) Maso mediano de 1-2 Kg.
- d) Pedazo de plástico cuadrado de 50\*50cm.
- e) Recipientes de 20 l de capacidad.
- f) Escalímetro.
- g) Gancho hecho de alambre de cobre de 3-5 mm de diámetro, y de 30 cm de largo. Afilado en un extremo y doblado a 360° de tal manera que la punta afilada quede paralela al resto del alambre. A unos 5-6 cm del otro extremo se suelda una laminita de cobre delgada de 2\*2 cm, de tal manera que su borde superior quede perpendicular al alambre.
- h) Palín.


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

i) Cronómetro.

**Procedimiento:**

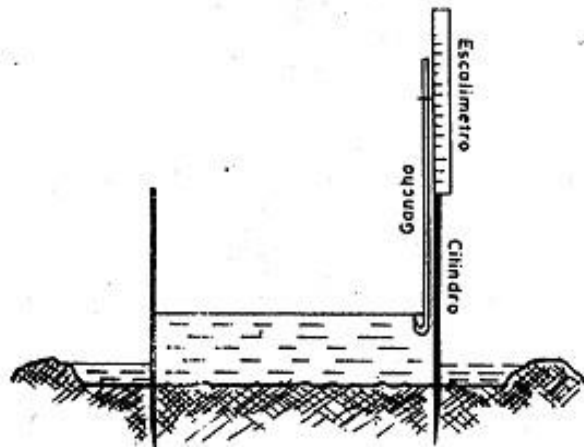
Seleccione los puntos del área donde se va a hacer la determinación. Describa las condiciones superficiales de los sitios seleccionados en cuanto a cobertura viva o muerta, roturación del suelo, grietas, humedad, etc. Con un barreno examine los cambios textuales y de humedad hasta al menos una profundidad de 50 cm en cada uno de los sitios (Pla Sentis, 1983).

Con ayuda de la tabla y el maso, entierre el cilindro unos 10 cm, procurando que quede nivelado y que no se formen huecos entre el suelo y la pared del cilindro. Una vez colocado el cilindro marque un punto sobre su borde superior sitio en el que realizará las mediciones. Haga un pequeño dique de tierra de 5-10 cm de alto alrededor del cilindro y a unos 20 cm de distancia de su parte exterior (Figura 5) (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


### Figura 5

#### *Montaje de la Prueba de Infiltración con Cilindro*



Fuente: (Pla Sentis, 1983).

Coloque la lámina de plástico sobre el suelo en el fondo del cilindro, y agregue agua hasta una altura de 10-15 cm, procurando que toda el agua caiga sobre el plástico. Inmediatamente después vierta el agua en la zona entre el dique de tierra y el cilindro, hasta una altura de 4-5 cm. Hecho esto, tome el escalímetro y el gancho, apoye el escalímetro con el 0 en la parte inferior sobre el punto que anteriormente marco en el borde superior del cilindro. Coloque el gancho con la punta doblada hacia abajo en la ranura del escalímetro que corresponde al borde superior de la lámina soldada al gancho, en la escala 1/100 o 1/1000. Es conveniente que el proceso desde que se vierte el cilindro hasta que se toma la primera lectura no tome más de uno o dos minutos (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Después de la primera lectura, estas se repiten a intervalos que pueden ser 2-5 minutos al comienzo, alargándolos después a 10, 15 y 30 minutos, cuando el descenso del nivel del agua en un intervalo es menor de un centímetro, puede pasarse a un intervalo superior. Las lecturas se siguen hasta que el descenso del nivel de agua dentro del cilindro es aproximadamente igual en dos lecturas sucesivas con el mismo intervalo de tiempo. Cuando el nivel del agua dentro del cilindro baja a menos de 5 cm por encima de la superficie, inmediatamente después de tomar la lectura repone agua hasta un nivel parecido al original, tomándose la nueva lectura de inmediato. Durante toda la determinación deben mantenerse de 2-5 cm de agua alrededor del cilindro. Cuando el intervalo entre lecturas se eleva a 10 minutos, se puede proceder a instalar otro cilindro y así sucesivamente hasta completar 3-5 cilindros (Pla Sentis, 1983).

### Cálculos:

Los datos obtenidos en el campo, y los calculados a partir de ellos se tabulan así:

**Tabla 4**

*Tabla de Cálculo de la Infiltración del Suelo*

<b>Hora de Lectura</b>	<b>Intervalo de Tiempo (minutos)</b> $\Delta(t)$	<b>Agua Infiltrada (mm)</b> $\Delta(I)$	<b>Tasa de Infiltración Instantánea (mm/hora)</b> <b>I</b>	<b>Tiempo Acumulado (minutos)</b> <b>T.A.</b>	<b>Infiltración Acumulada (mm)</b> <b>I.A.</b>	<b>Tasa de Infiltración Promedio (mm/hora)</b> <b>L.P.</b>
------------------------	---	--	---	--	---	---

Fuente: (Pla Sentis, 1983)

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

$$I = \frac{60 * \Delta l(mm)}{\Delta t (min)}$$


$$IP = \frac{\sum_0^t \Delta l}{\sum \Delta t}$$

Donde:  $\Delta l$  = lamina infiltrada en el intervalo  $\Delta T$

Cuando se tienen datos de varios cilindros se puede calcular el promedio de los valores de I, I.A., e I.P. Con los valores de tiempo acumulado se puede graficar la lámina infiltrada en cada intervalo de tiempo, la infiltración acumulada con el fin de analizar su variación y poder explicar y comparar la capacidad del suelo a permitir el paso del agua a través de la superficie (Pla Sentis, 1983).


### **Interpretación:**

Los valores de infiltración obtenidos por este método corresponden a los que se obtendrían si el agua de lluvia o riego inundara la superficie del suelo y se mantuviera en las mismas condiciones en las que estaba cuando se hizo la determinación. La curva de valores de I nos da una idea de cómo cambiara la tasa de penetración del agua en el suelo partiendo de las condiciones iniciales de humedad del suelo, hasta alcanzar un valor constante, el cual se conoce como “tasa de infiltración básica”. Este valor, que refleja la permeabilidad del suelo

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

en forma integral, corresponde aproximadamente a la conductividad hidráulica en condiciones de saturación del estrato del suelo con más baja permeabilidad, y que se encuentre antes de los 100 cm de profundidad. Por ello, se alcanza antes cuando más húmedo este el suelo originalmente, y cuando más cerca de la superficie se halle dicho estrato limitante. Dicha tasa de infiltración básica representa la tasa de penetración máxima y estable del agua de lluvia o riego en el suelo cuando ha transcurrido un tiempo determinado para alcanzar la condición antes descrita. En cuanto a la penetración del agua en el suelo, mientras que valores mayores de 100 mm/hora harán difícil la aplicación de agua de riego por inundación o por surcos, habiendo que recurrir a la aspersión o riego por goteo (Pla Sentis, 1983).

Aun cuando el valor de la “tasa de infiltración básica” sea muy bajo, el problema que ello acarreará será mayor si cuando se alcanza dicho valor ha logrado penetrar en el suelo una lámina apreciable de agua. Esta información puede obtenerse en la curva de L.A., siendo el valor alcanzado cuando la pendiente se hace constante. Partiendo de suelo seco, valores por encima de 100 mm son aceptables. La curva de I.A, también nos da la información en cuanto al tiempo requerido para lograr la infiltración de una lámina de agua determinada. Los valores de I.P. no aportan mucha información adicional, aparte de indicarnos la tasa promedio de penetración del agua en el suelo hasta un determinado tiempo después de iniciada la inundación (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


### *6.3.2 Infiltración de Agua Lluvia Simulada*

#### **Material y equipo:**

- a) Simulador de lluvia con bandejas para suelo y captura de escorrentía y percolación.
- b) Cilindro graduado de un litro.
- c) Papel servilleta.
- d) Cronómetro.
- e) 2 ventiladores.
- f) Reloj.
- g) Estufa.

#### **Procedimiento:**


Coloque el papel de servilleta sobre el doble fondo de la bandeja para suelo, y llene cuidadosamente con el suelo pasado por el tamiz de 8 mm hasta el nivel del vertedero superficial. Coloque la cubierta superior del vertedero, la pared lateral y el techo y apoye la bandeja por su pestaña posterior sobre un tramo del soporte colocado a nivel en el centro de la bandeja inferior del simulador de lluvia. De acuerdo al tramo seleccionado para el apoyo se lograrán diferentes grados de pendiente. Para la prueba de infiltración las bandejas se colocan planas, pero cuando se hacen pruebas de erodabilidad, se colocan a diferentes

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

pendientes según el caso. Hecho lo anterior puede colocar el frasco de vidrio colector en la boca del vertedero. Repita lo mismo para las otras dos bandejas (Pla Sentis, 1983).

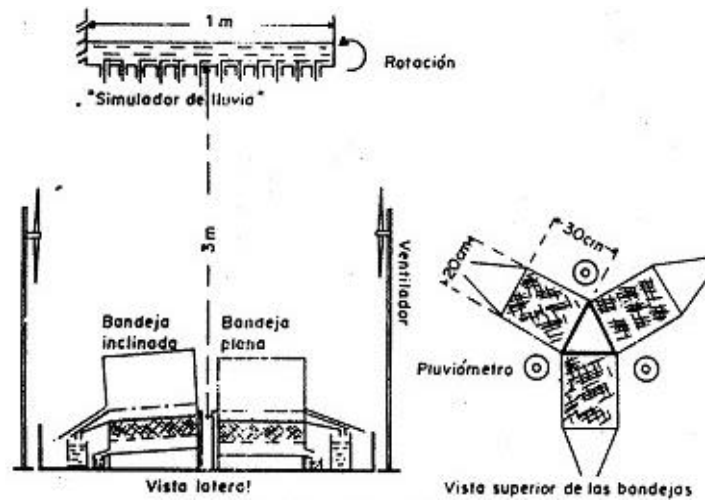
Calibre la intensidad de lluvia, subiendo o bajando el tubo de salida de agua de la botella invertida del simulador. Revise que todos los goteros funcionen o golpéelos para facilitar el flujo de agua. Aplique la lluvia a la muestra del suelo de la bandeja e inicie el conteo del tiempo. Mientras realiza la prueba coloque cerca de la bandeja un pluviómetro para controlar la intensidad aplicada. Al mismo tiempo coloque a funcionar los ventiladores enfrentados y a lado y lado de la caída de gotas (Figura 6). De ahí en adelante se anota el tiempo cuando comienza a acumularse exceso de agua en la superficie del suelo, el cual pasa por el vertedero al frasco. Posteriormente cada 5 o diez minutos si el agua recogida no llega a 100cc, se cambian los frascos colectores y se mide el volumen de agua recogida. El proceso se sigue hasta que en tres intervalos sucesivos se recogen volúmenes similares de agua. Al terminar se mide la lámina de agua recogida en los tres pluviómetros (Pla Sentis, 1983).



	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> Investigación	<b>Fecha de emisión:</b> 22-Nov-2009	<b>Fecha de versión:</b> 22-Nov-2009

**Figura 6**

*Montaje del Simulador de Lluvias y las Muestras de Suelo*



Fuente: (Pla Sentis, 1983).

**Cálculos:**

Tabule los datos obtenidos así:


Tiempo requerido para que la precipitación exceda la infiltración = X

**Tabla 5**

*Tabla para Cálculo de Índice de Sellado*

Tiempo Acumulado (minutos) (A)	Intervalo de Tiempo (minutos) (B)	Agua Caída (mm) (C)	Agua Recogida (cc) (mm) (D)	Agua Infiltrada (mm) (E)	Intensidad (mm/hora)
--------------------------------------	--	------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------

Fuente: (Pla Sentis, 1983)

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Donde:

$$C = \frac{\text{la min apromediodeaguarecogidaen los dos pluviómetros que bordean la banda } (mm) * B}{\text{tiempo total acumulado}}$$

$$D(mm) = \frac{D(cc)(\text{volumen de agua recogida en cada } B * 10)}{\text{área del suelo que recibe la lluvia } (cm^2)}$$

$$E = C - D; I = \frac{C - D}{B} * 60$$

Con los valores de (A) en el eje de la abscisa, y de (I) en el de las ordenadas se construye la curva de infiltración instantánea.


### ***Interpretación***

La curva de infiltración instantánea lleva a el cómo evolucionaría la infiltración de agua lluvia en un suelo roturado, seco y desnudo. Para tener una base común de comparación entre diferentes suelos o tratamientos, se puede tomar la energía cinética requerida para alcanzar la infiltración mínima y el valor de esta (Pla Sentis, 1983).

Para calcular la energía cinética (Ec):

$$Ec \left( \frac{Kgm}{ha} \right) = 2,5 * 10^4 * (\text{Lámina acida para cuando se alcanza la Imínima})$$

Se asume una velocidad de las gotas al momento del impacto de 7m/seg.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


Para las condiciones climáticas predominantes en gran parte de las zonas agrícolas tropicales de secano, valores de  $I$  mínima menores de 5 mm/hora, que se alcancen con  $E_c$  menores de  $7.5 \cdot 10^5$  Kgm/ha (30 mm de precipitación) indican problemas probables de encharcamiento en caso de terrenos planos, mientras  $E_c$  menores de  $7.5 \cdot 10^5$  Kgm/ha (30 mm de precipitación) indican posibles problemas de escorrentía y erosión en terrenos con pendiente. Estos valores solo deben usarse como una guía general, pues condiciones de precipitación más extremas que se presentan en ocasiones pueden provocar problemas aun con valores de  $I$  mínima más altos y de  $E_c$  más bajos obtenidos en esta determinación (Pla Sentis, 1983).

Para la interpretación se usan los mismos criterios expuestos en la metodología de estabilidad de agregados estables al impacto de gotas (Pla Sentis, 1983).

### **6.3.3 Conductividad Hidráulica en Suelo Saturado con Carga Constante**

#### **Material y equipo:**

- a) Toma-muestras tipo Uhland.
- b) Caja para transportar los cilindros con muestras inalteradas.
- c) Malla de liencillo.
- d) Banditas de goma.
- e) Permeámetro de carga constante.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

f) Probetas graduadas de plástico de 100 cc.

**Procedimiento:**

Los cilindros para determinar porosidad, inicialmente colóqueles una extensión superior, saturándose posteriormente por capilaridad en una bandeja con agua. Para ello los cilindros deben colocarse sobre un soporte o malla que impida el contacto de su borde inferior con el fondo de la bandeja, y el nivel del agua debe subirse hasta alcanzar la parte media de ellos. Una vez saturados, se pasan al Permeámetro, cebándose inmediatamente los sifones para que se llene con agua la extensión superior, y se mantenga así durante la determinación. Cuando comienza a pasar agua al cilindro graduado colector, este se vacía y se comienza a contar el tiempo requerido para ello. Si en más de 24 horas no se han recogido 100 cc, se mide el volumen recogido hasta ese momento, dando por terminada la determinación. Una vez escurrido el exceso de agua, los cilindros de suelo pueden seguir usándose para las determinaciones de porosidad y módulo de ruptura (Pla Sentis, 1983).

Durante todo el proceso deben tomarse precauciones especiales para que las superficies superior e inferior del cilindro no se alteren, pues en suelos con poca estabilidad estructural dichas superficies se sellan con gran facilidad alterando sensiblemente los resultados. La determinación termina cuando el volumen percolado sea similar para dos lecturas consecutivas en un intervalo de tiempo igual (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Cálculos:**

$$K_s = \frac{V}{A * \Delta t * \left(\frac{H + L}{L}\right)}$$

Donde: (H+L)/L es el gradiente hidráulico.

H= Lámina de agua que se mantiene constante sobre el nivel superior del cilindro de suelo (cm).

L= altura del cilindro de suelo (cm).

$\Delta t$ = Tiempo transcurrido desde que comenzó a recogerse el agua percolada hasta la medición final del volumen (V) de esta (horas).

V= volumen de agua recogido en el cilindro graduado (cc).

A= área de la sección circular horizontal del cilindro (cm<sup>2</sup>).


K= conductividad hidráulica en cm/hora.

**Interpretación:**

Tomando en cuenta los fines antes expuestos, se pueden considerar limitantes, según la profundidad, o según la fuente de agua, valores por debajo de:

*Profundidad*

0-30 cm      5 mm/hora (agricultura de secano)

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

2 mm/hora (agricultura bajo riego)

30-60 cm      2 mm/hora (agricultura de secano)

1 mm/hora (agricultura bajo riego)


Estos valores solo pueden usarse como una guía general, pues habrá numerosos casos en los que, por especiales circunstancias de clima, cultivos o métodos de riego, dichos valores críticos estén por encima o debajo de los expuestos (Pla Sentis, 1983).

#### **6.4. DIAGNOSTICAR LA RETENCIÓN Y PÉRDIDA DE HUMEDAD DEL SUELO (CC EN CAMPO Y CCRH).**

##### **6.4.1 Capacidad de Campo en Campo**

##### **Material y equipo:**

- a) Láminas de plástico de 100\*100 cm.
- b) Toma-muestras.
- c) Latas con capacidad para unos 200-300 gr con sus tapas.
- d) Balanzas con apreciación de 0.1 gr.
- e) Estufa.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Procedimiento:**

Saturar el suelo hasta una profundidad al menos 30 cm por debajo de la profundidad a la cual se quiere hacer la determinación. Cubrir 1 m<sup>2</sup> de la superficie con un plástico, pisando los bordes con suelo. Transcurridas aproximadamente 48 horas de esta operación, se mueve el plástico, y en la parte central del área protegida se toma con el barreno una muestra de aproximadamente 200-300 gr a la profundidad o intervalo deseado. Dicha muestra se coloca en una lata bien identificada, se tapa herméticamente y se lleva lo antes posible al laboratorio para pesarla, y colocarla a secar en estufa a 105-110°C por 24 horas (Pla Sentis, 1983).


**Cálculos:**

$$CC = \frac{a - b}{b - c}$$

Donde, a= peso de la lata más suelo a capacidad de campo.

b= peso de la lata más suelo seco a 105-110°C.

c= peso de la lata.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Interpretación:**

Ya que la capacidad de campo representa la capacidad máxima de retención de agua en el suelo, su valor tiene importancia para apreciar cuanto pueden durar las reservas de agua del suelo antes de requerir de nuevo aportes, ya sea de agua de lluvia o de riego. Aunque dicho valor no es el único que determina la cantidad de agua del suelo que pueden aprovechar las plantas, si es el principal factor a considerar en la mayoría de los casos (Pla Sentis, 1983).


Sin pretender que los mismos valores apliquen para todos los casos, generalizando podríamos señalar como excesivamente bajo los siguientes:

Agricultura de secano: valores inferiores a 15% de humedad.

Agricultura bajo riego: valores inferiores a 10% de humedad.

También pueden acarrear problemas valores altos debido a déficit en el drenaje interno de los suelos, cuando ellos van aparejados a valores limitantes de poros con  $r > 15\mu$  (Pla Sentis, 1983).



	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


#### 6.4.2 *Curva Característica de Retención de Agua en el Suelo*

##### **Material y equipo:**

- a) Equipo de ollas y platos de presión con sus respectivas membranas de Richards para valores máximos de 15 bares “Soil Moisture Equipment Co.” P.O. Box 30025-Sta. Barbara-California-U.S.A.
- b) Anillos de goma de aproximadamente 5 cm de diámetro y 1 cm de altura.
- c) Espátula doblada ligeramente a 2 cm de la punta.
- d) Latas.
- e) Estufa.
- f) balanza con apreciación de 0.1 gr.


##### **Procedimiento:**

Coloque el o los platos de porcelana apropiados para cada determinación, ya sea directamente en la olla o cámaras a presión, o sobre tapones de goma en el exterior. Para presiones de 1/10 y 1 bar se puede usar plato de 1 bar de máxima presión, para 1 y 3 bares de presión se pueden utilizar platos de 3 bares de máxima presión, y para presiones mayores de 3 bares se pueden usar los platos de 15 bares de máxima presión. Al tubito de desagüe de los platos de porcelana se les agrega un tubito de bomba de unos 50 cm de largo. Sobre los platos de porcelana se

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

coloca el número de anillos de goma requeridos según el número de muestras, identificados, ya sea directamente por fuera con un marcador, o mejor por su posición relativa en el plato, la cual se marca en una hoja de papel. Dentro de cada anillo se coloca suelo disgregado de una muestra, el cual se distribuye y compacta un poco utilizando la espátula con la punta doblada. Una vez colocadas las muestras, se conecta el tubito exterior de goma a un recipiente con agua desionizada colocado a 30-50 cm por encima del nivel del plato, formando un sifón par que pase agua a presión a la cámara por debajo de la placa de porcelana. Se deja así hasta que el suelo dentro de los anillos se sature por capilaridad. Si esto se demora mucho, como ocurre en los platos de 15 bares, es mejor saturar el plato antes de colocar las muestras dejándolo sumergido en agua en una bandeja por una o dos horas, y luego una vez con las muestras agregar con una bureta agua directamente en el plato entre ellas hasta que se saturan (Pla Sentis, 1983).

Al saturarse las muestras, y con los platos colocados en la posición correcta dentro de la olla y cámaras de presión, se cierran las tapas herméticamente asegurándose de que no queden escapes y graduando las llaves de paso, se aplica la presión de aire requerida. Si la presión es alta, es mejor irla aplicando por etapas, con intervalos de varios minutos. Los tubitos de desagüe de los platos al exterior se chocan dentro de un recipiente recolector del agua extraída, de tal manera que queden sumergidos en ella. Si comienzan a aparecer burbujas de aire, y al cabo de ½ hora se mantiene a un ritmo superior de una cada cinco segundos, es


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

posible que haya escapes en alguna de las conexiones del tubo, o que se haya perforado la goma de la parte inferior del plato (Pla Sentis, 1983).

En este caso es necesario eliminar la presión, abrir la olla o cámara, y ajustar las conexiones, o cambiar el plato si está rota la goma inferior (Pla Sentis, 1983).

Según lo que persiga, se harán determinaciones aplicando diferentes presiones por lo general basta con obtener más valores a 1/10, 1/3 y 15 bares, aplicando en cada caso la presión adecuada, utilizando los platos y cámaras de presión apropiadas (Pla Sentis, 1983).

Al transcurrir unas 24 horas de aplicada la presión se conectan las salidas de los tubitos de goma de los desagües a los extremos de pipetas o buretas delgadas, revisando y marcando posteriormente en forma periódica el ascenso del agua extraída en ellas. Cuando el nivel de agua deja de subir, o comienza a subir y bajar erráticamente es señal de haberse alcanzado equilibrio entre la presión aplicada y el agua que aún queda en el suelo. Alcanzado el equilibrio, se deja libres los extremos de los tubitos de desagüe, se quita la presión, se abre la cámara, y se extraen los suelos, pasándolos inmediatamente a una latica previamente pesada, y la cual se pesa ahora con el suelo dentro. Inmediatamente se coloca en estufa y se seca a 105-110°C por 24 horas (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Cálculos:**

$$\theta_x = \frac{a - b}{b - c}$$

Donde: a= peso de la lata más suelo con agua retenida a la presión X.

b= peso de la lata más suelo seco en estufa a 105-110°C.

c = peso de la lata.

Con los datos para diferentes presiones se puede hacer un gráfico que relacione el contenido de humedad del suelo con potencial mátrico correspondiente al negativo de la presión aplicada (Pla Sentis, 1983).


**Interpretación:**

Algunos pretenden que el valor de retención de humedad a 1/3 bar corresponde a la capacidad de campo de un suelo con buen drenaje, mientras que la retención a 1/10 de bar corresponderla a la capacidad de campo en suelos con drenaje restringido. Ambas pretensiones son arbitrarias, pues la capacidad de campo en ningún caso corresponde con a tensión definida. Además, por las grandes diferencias en contenido de humedad para pequeños cambios en la tensión en esa zona de la curva, los errores que se pueden cometer al asumir una determinada tensión pueden ser muy significativos (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Las determinaciones a presiones superiores sirven más que todo para dar puntos intermedios en la curva, mientras que el valor a 15 bares has sido y es ampliamente utilizado como una apreciación de punto de marchites permanente. Esta apreciación también puede adolecer de grandes errores por diferencias atribuibles a la variación de los suelos, climas y plantas involucrados. Sin embargo, dichos “errores” en la apreciación del potencial, no se manifiestan como tales en cuanto a contenido de humedad, la cual varia muy poco en esa zona de la curva. Por ello, el método se ha seguido utilizando con ese fin, pues es el más sencillo y práctico para ello. En cuanto a la retención de humedad a 1/10 y 1/3 de bar, nos interesa su valor absoluto, mientras que en el caso de la retención a 15 bares nos interesa especialmente su diferencia con las retenciones a 1/10 y 1/3 de bar, y con la capacidad de campo. A esta última diferencia se le ha llamado “agua aprovechable” (Pla Sentis, 1983).

Valores de retención de humedad a 1/10 y 1/3 bar ambos superiores a 25%, y diferencia entre ellos menor de 5%, generalmente indican excesiva humedad y reducida aireación, aun cuando no haya otras limitaciones en el drenaje interno del perfil de suelo. Aunque el valor a 1/10 de bar sea superior a 25 %, si la diferencia con el correspondiente a 1/3 es superior a 10%. Los problemas anteriores solo se presentarían si hay limitaciones en el drenaje interno del resto del perfil. Tanto en un caso como en el otro disminuye la importancia de los problemas cuando se pueden controlar los aportes de agua con riego (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


Diferencias en contenido de humedad entre capacidad de campo y 15 bares de tensión inferiores a 10%, generalmente son muy bajos para agricultura de secano, e incluso para agricultura de riego por métodos convencionales, pero no para métodos de riego por aspersión o continuo. Desde el punto de vista de uso de agua por gran parte de los cultivos es conveniente que al menos un 80% de esa diferencia esté comprendida entre capacidad de campo y dos bares de tensión, y al menos un 60 % entre capacidad de campo y un bar (Pla Sentis, 1983).

## **6.5. DIAGNOSTICAR LOS PROBLEMAS DE COMPACTACIÓN Y ENCOSTRAMIENTO DEL SUELO (PROCTOR Y RESISTENCIA A LA RUPTURA).**

### ***6.5.1 Compactación, Aireación y Modulo de Ruptura***

#### **Material y equipo:**


- a) Ollas a presión, y membranas Ricard's para un máximo de 1 bar.
- b) Tamiz de 4 mm.
- c) Bandeja.
- d) Equipo para medir tasa de difusión de oxígeno con electrodos de 10-20 cm de largo, producido por Jensen Instruments, P.O. Box 44021, Tacoma – Washington, U.S.A.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

- e) Compactador de suelo tipo Richards (Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: 637-639).
- f) Cilindros de metal de 5 cm de diámetro, 5 cm de altura.
- g) Malla de liencillo.
- h) Banditas de goma.
- i) Mesa de tensión.
- j) Equipo para medir módulo de ruptura.
- k) Balanza con apreciación de 0.1 gr.
- l) Estufa.

**Procedimiento:**


Pase el suelo seco al aire por un tamiz de 4 mm y coloque alrededor de 1 Kg bien distribuido sobre plato de porcelana de 1 bar. Conecte el tubo de salida del plato con un tubo de goma a un recipiente con agua colocado a un nivel superior. Ceba el tubo, y deje que el suelo se sature por capilaridad. Una vez saturado el suelo coloque el plato dentro de la olla a presión, tape herméticamente y aplique una presión de 1/10 bar. Espere hasta alcanzar equilibrio; cuando ya no sale más agua, quite la presión, abra la olla, y remueva aproximadamente la mitad del suelo, el cual se pasa, presionando suavemente con la mano, a través de un tamiz de 4 mm. El resto del suelo que queda en el plato de porcelana, es sometido posteriormente a una presión de 0.5 bares, y una vez alcanzado el equilibrio es también removido y pasado a través de un tamiz de 4 mm (Pla Sentis, 1983).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Una vez tamizado el suelo, se mezcla bien y se toma una muestra de 20-30 gr en una lata, para determinar humedad. Con el resto del suelo se preparan tres cilindros compactados en la misma forma. Para ello los cilindros de metal de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura se tapan por un extremo con un pedazo de liencillo amarrado con una bandita de goma. Al otro extremo se le conecta una extensión de 5 cm. Hecho esto se va llenando con el suelo cernido, presionando de cuando en cuando con la placa circular soldada a un extremo del resorte, hasta que se note cierta resistencia para bajar el resorte hasta el borde superior de la extensión (Pla Sentis, 1983).

Pase el cilindro con su extensión y el resorte presionando en la parte superior del compactador, fíjelo, y prosiga la consolidación de golpeteo durante dos minutos. Al completar estos remueva con cuidado la extensión superior mientras presiona con la mano el resorte. El nivel superior del suelo compactado no debe quedar por debajo del nivel del cilindro, ni más de 0.5 cm por encima de dicho nivel. Si ese no es el caso, debe descartar ese suelo, y repetir el proceso con más o menos suelo según sea el caso. Remueva el exceso de suelo, con cuidado de no sellar la superficie, hasta el nivel del cilindro. Anexe a la parte superior del cilindro de 2.5 cm con conexión de tubo de tripa, y pese el conjunto. Repita el proceso para los otros dos cilindros, aunque para ellos debe servir de guía el peso del suelo utilizado para el primero (Pla Sentis, 1983).




	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Una vez preparados los cilindros se ponen a saturar colocándolos sobre pequeños cilindros de 1 cm de altura cubiertos de papel de filtro en una bandeja con agua cuyo nivel alcance hasta 1-2 cm por encima del fondo del cilindro de suelo. Cuando se alcanza la saturación, lo cual se aprecia por la brillantez en la parte superior del suelo, los cilindros se pasan al permeámetro de carga constante, y se determina conductividad hidráulica (Pla Sentis, 1983).

Posteriormente, se siguen los procedimientos se determina la densidad aparente, porosidad total, porosidad con radio equivalente  $>15\mu$  y módulo de ruptura. Cuando se tienen los cilindros de suelo saturados sobre la mesa de tensión se coloca en la parte central de cada uno un electrodo con la punta a una profundidad de 2.5 cm, tomando al cabo de 24 horas la lectura con el aparato para medir tasa de difusión de oxígeno. Los electrodos se dejan colocados para repetir la medición cuando se ha aplicado la succión con una columna de agua de 100 cm (Pla Sentis, 1983).

### **Cálculos:**

Los mismos utilizados donde se describe cada uno de los procedimientos para la densidad aparente, porosidad total, porosidad con radio equivalente  $>15\mu$  y módulo de ruptura. Las lecturas del aparato para medir difusión de oxígeno se llevan de microamperios a microgramos/cm<sup>2</sup> minuto, usando la ecuación:

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

$$TDO \left( \frac{\mu gr}{cm.min} \right) = 0.059 \frac{M * i}{n * F * A}$$

Donde:  $i$  = Corriente medida en microamperios.

$A$  = Área en  $cm^2$  del electrodo.


$M$  = Peso molecular del  $O_2$ .

$n$  = Número de equivalentes por mol de  $O_2$ .

$$F = \text{No. Faraday} = 96500 \frac{\text{coulombs}}{\text{equiv.gramo}} = 96500 \frac{\text{amperios.sec}}{\text{equiv.gramo}}$$

### **Interpretación:**

Con las limitaciones ya expresadas anteriormente en cuanto a la interpretación de resultados de determinaciones físicas, podríamos señalar que si al pasar de 0.5 a 0.1 bar, el suelo sufre una compactación tal que su espacio poroso con  $r > 15\mu$  se reduce a  $< 5\%$  del volumen de suelo, ello es un índice de la tendencia del suelo a compactarse, especialmente si se manipula en condiciones de humedad alta, lo cual a veces es imposible de evitar con agricultura de secano. Aunque el espacio poroso con  $r > 15\mu$  se mantenga por encima de 5%, si la tasa de difusión de oxígeno en el suelo a 0.1 bar de succión es menor que  $0.2 \mu gr/cm^2$  minuto, podemos llegar a la misma conclusión. En general, suelos que compactados de  $r > 15\mu$ , y tasa de difusión de oxígeno  $> 0.5 \mu gr/cm^2$  minuto, no tendrán limitaciones en cuanto a su manipuleo aun pese después de una lluvia. Suelos, que compactados a 0.5 bares de succión,

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

presentan valores de <10% en volumen de poros con  $r > 15 \mu$ , y, o tasas de difusión de oxígeno <0.5  $\mu\text{gr}/\text{cm}^2$  minuto, serán los más problemáticos (Pla Sentis, 1983).


En general, las situaciones anteriores suelen corresponder a densidades aparentes mayores de 1.3 en suelos de textura pesada, mayores de 1.4 en suelos de textura media y mayores de 1.6 en suelos de textura gruesa (Pla Sentis, 1983).

En cuanto a la resistencia mecánica del suelo, valores de módulo de ruptura en suelo seco mayores a 3  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  pueden ser excesivos en muchos casos, aunque ello dependerá mucho a su vez de las condiciones de humedad en que se mantenga el suelo, las cuales hacen variar mucho dicha resistencia (Pla Sentis, 1983).

La influencia relativa de la compactación sobre el flujo del agua se refleja en los valores de conductividad hidráulica en suelo saturado, los cuales pueden ser limitantes si están por debajo de 5 mm/hora, con agricultura de secano, y de 2 mm/hora con agricultura de riego (Pla Sentis, 1983).

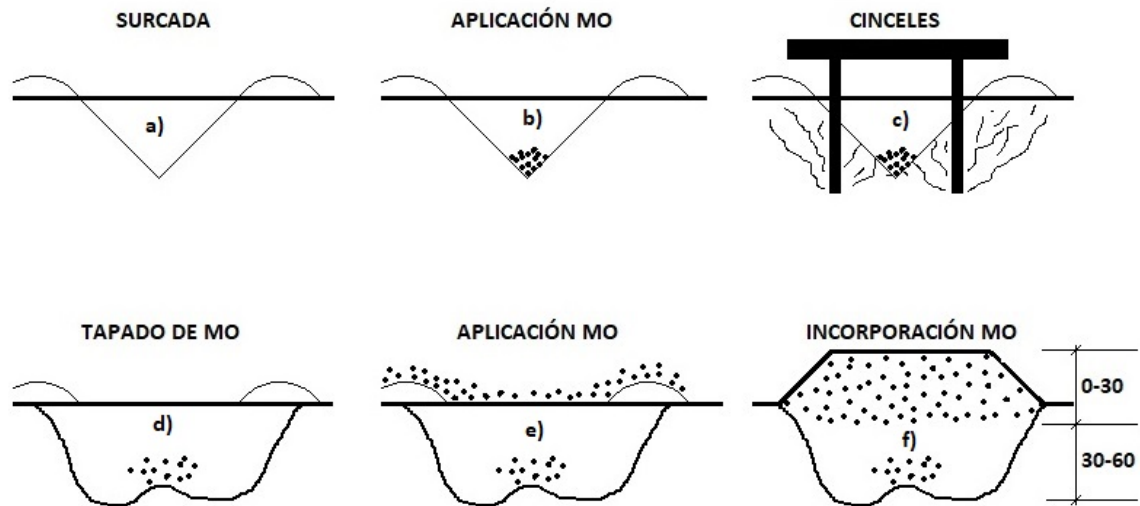
## **6.6. APLICACIÓN DE LA MATERIA ORGANICA COMERCIAL AL SUELO**

Para la aplicación de la MO comercial se siguieron los siguientes pasos (Ilustración 1), con el uso de herramientas agrícolas accionadas con tractor, a saber, surcadora, cinceles y arado rotativo.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b>
			<b>Versión:01</b>
<b>Proceso:</b> Investigación	<b>Fecha de emisión:</b> 22-Nov-2009	<b>Fecha de versión:</b> 22-Nov-2009	


## Ilustración 1

### *Aplicación de Materia Orgánica Comercial al Suelo*



Modo de aplicación de la materia orgánica

1. Inicialmente se surcó el suelo a 30 cm de profundidad (a).
2. Se aplicó la MO comercial al fondo del surco (b).
3. Se roturo el suelo con cinceles a 6 cm de profundidad (c).
4. Con la surcadora se tapó la MO (d).
5. Sobre el suelo se aplicó MO comercial (e).
6. Se incorporó la MO mediante el uso de un arado rotativo, formando las camas de siembra (f).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

De esta manera se formó una capa entre 0 y 30 cm de profundidad en la que la MO comercial se incorporó de manera homogénea, mientras en la segunda capa la MO comercial puede haber quedado concentrada en un volumen limitado del suelo.

## **6.7. DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y DE CORRELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES DETERMINADAS Y LOS TRATAMIENTOS DE MATERIA ORGÁNICA.**


Los tratamientos a evaluar en la investigación corresponden con niveles seleccionados considerando como testigo la dosis que aplican en la zona de estudio (10 ton.ha<sup>-1</sup> de MO comercial), las dosis aplicadas en regiones vitivinícolas de Perú y Brasil (100 ton.ha<sup>-1</sup> de MO comercial) y una dosis intermedia (50 ton.ha<sup>-1</sup> de MO comercial) (Tabla 6).

**Tabla 6**

*Tratamientos del Ensayo*

<b>TRATAMIENTOS (Suelo x Dosis de Materia Orgánica)</b>			
<b>REPETICIONES</b>	1S - 10MO	1S - 50MO	1S - 100MO
	1S - 10MO	1S - 50MO	1S - 100MO
	1S - 10MO	1S - 50MO	1S - 100MO

Fuente: Elaboración Propia

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Debido a que las unidades experimentales son homogéneas, esto porque están ubicadas dentro de una misma unidad cartográfica de suelos, los tratamientos se distribuyeron al azar, y el análisis estadístico al que se ajusta es un diseño completamente aleatorizado. De esta manera el modelo para el análisis de la información corresponde a:

Y el modelo estadístico se representa por la ecuación:

$$Y = \mu + \tau + \varepsilon$$

Donde:         $\mu$ : media general


$\tau$ : efecto adicional del tratamiento

$\varepsilon$ : error experimental

El análisis estadístico se realizó mediante el ANOVA el cual identifica las diferencias significativas de manera general entre las medias de los tratamientos, y la prueba de Tukey que determina cuáles medias de los tratamientos son diferentes entre sí. Para el estudio se amplió el p-valor de significancia a 0,2 para las propiedades del suelo que presentaron tendencias lógicas de acuerdo con la literatura (Hernandez & Gutierrez, 2013); (Lopez, Zerbino, & Alvarez, 2013) y para ensayos de campo donde no se tiene control sobre las variables ambientales.

## **6.8. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO ESTUDIADO**

“De acuerdo con el estudio de suelos del Valle del Cauca (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004) y su cartografía de suelos realizada por el IGAC el suelo pertenece a la serie Galpón-Nima (GLar), y corresponde a la familia taxonómica Udic Calcicusterts, fina,


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

vermiculítica, isohipertérmica, que se desarrolló sobre en el cuerpo del abanico aluvial reciente del paisaje del piedemonte, sobre el material parental de aluviones finos, y en clima ambiental cálido seco. Este suelo es superficial, limitado por nivel freático, imperfectamente drenado, químicamente neutro y de fertilidad muy alta” (Perfil V26, Ver Anexo X3). (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004)

“Se localizan en el cuerpo y base de los abanicos aluviales recientes, en relieves ligeramente planos con pendientes de 1 a 3%.” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004)

“Son suelos de moderada evolución pedogenética desarrollados en aluviones finos; superficiales limitados por el nivel freático, imperfectamente drenados y de fertilidad muy alta.” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004)

“Presentan perfiles A-AB-B-C (Ap-AB<sub>ss</sub>-Bk-Ck<sub>1</sub>-Ck<sub>2</sub>). El horizonte A tiene 28 cm de espesor, color negro, clase textural franco arcillosa, estructura en bloques subangulares débilmente desarrollados y reacción neutra. El horizonte transicional AB tiene 24 cm de espesor, color negro, clase textural arcillosa, estructura en bloques subangulares moderadamente desarrollados, presencia de slickensides y estructuras en cuña y reacción ligeramente alcalina. El horizonte B tiene 42 cm de espesor, color gris oliva, clase textural franco arcillosa, estructura en bloques subangulares débilmente desarrollados, presencia de concreciones de carbonato de calcio y reacción moderadamente alcalina. El horizonte C tiene 56 cm de

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


espesor, color gris oliva con moteados de color pardo amarillento y gris muy oscuro, clase textural franco arcillosa a franca, sin estructura de suelo, presencia de concreciones de carbonato de calcio y reacción moderadamente alcalina.” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004)

“Químicamente son suelos de alta capacidad catiónica de cambio, altos en bases totales, medianos en carbono orgánico, altos en fósforo disponible, relación calcio: magnesio alto en superficie y normal en profundidad y reacción neutra a fuertemente alcalina (pH 7.0 a 8.5)”.

“La fracción arcilla está dominada por vermiculita e integrados clorito-vermiculíticos aunque también se presenta caolinita e illita en baja proporción.” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004)


“Desde el punto de vista físico son suelos que retienen moderados contenidos de humedad para las plantas debido a la moderada cantidad de microporos ( $< 10\mu$ ); la disponibilidad de agua a capacidad de campo es de 33% en la capa arable. La porosidad total entre agregados varía de 38 a 48% en todo el perfil siendo los macroporos ( $> 60\mu$ ) los de menor participación con valores inferiores a 10% lo que indica que el suelo no ofrece un suministro adecuado de oxígeno para las plantas.” (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004)



	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

“La clasificación taxonómica se basa en la presencia de propiedades vérticas, la presencia de un horizonte cálcico dentro de los 100 cm y el régimen de humedad ústico.”

“Como inclusión de la unidad cartográfica se presenta la familia Typic Haplusterts, fina, esmectítica, isohipertérmica. Ocupa el 15% de la unidad y está representada por el perfil CA2. Los suelos se caracterizan por ser moderadamente profundos limitados por el nivel freático, imperfectamente drenados, de clase textural arcillosa y reacción neutra a ligeramente alcalina (pH 6.6 a 7.8)”. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004)

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

## 7. FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN


### 7.1. FUENTES PRIMARIAS

Para la investigación, debido a que no hay estudios rigurosos publicados para la zona vitícola del Valle del Cauca, la fuente de información directa corresponde a especialistas que trabajan en el área y que gozan de prestigio en el sector vitícola del departamento, tal como el Ms.C. Oswaldo Puerto quien asesora cultivos de vid tradicionales e industriales en el Valle del Cauca; además se contó con la información suministrada por las asociaciones de viticultores de la zona de trabajo, quienes han evidenciado en la práctica, que el movimiento del agua en el suelo, es uno de los principales problemas en el manejo del cultivo de la vid. Este problema el suelo lo hereda de los sistemas de producción de caña de azúcar del Valle del Cauca, que genera bajos contenidos de materia orgánica y compactación.


### 7.2. FUENTES SECUNDARIAS

La fuente secundaria para esta investigación tuvo lugar a la revisión de las revistas especializadas en suelos que se encuentran indexadas en la Science Direct; entre las cuales se encuentran:

- Journal Soil Science

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

- Biology and Fertility of Soils
- Geoderma
- Soil and Tillage
- Soil Hydrology
- Publicaciones de la FAO
- Soil Science Society of America Journal
- Soil Management Support Services
- Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences
- Publicaciones de la Naciones Unidas
- Publicaciones del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Publicaciones de la Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Revista Alcance.
- Publicaciones del Departamento de Agricultura de Estado Unidos (USDA)
- International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture
- Revista de Ciencias Agrícolas
- Acta Horticultrae
- Revista Brasileña Frutic
- Agronomy Journal
- Soil Science Society of America Journal
- Environmental Monitoring & Assessment
- Revista Colombiana de Geografía

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

- Política Nacional para la gestión integral ambiental del suelo
- Revista Colombiana de PSQUIATRIA
- Física de Suelos y el Manejo de la Tierra y el Agua en Zonas de Ladera
- Agricultural and Forest Meteorology
- The Scientific World Journal
- Publ. Rev. Fac. Agron. Alcance
- Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual
- Agriculture, Ecosystems and Environment
- Acta Agronómica
- FR Magdoff et al.(ed) Soli organic matter: Analysis and interpretation

En general, a partir de la revisión de literatura se concluye que la incorporación de materia orgánica comercial a el suelo conlleva al aumento de la MOS o del carbono orgánico del suelo y esta se estabiliza en aproximadamente un año en suelos del trópico. El incremento de la MOS mejora las propiedades hidráulicas del suelo, así como permite la captura de COS.

La mejora de las características hidráulicas y la MOS permiten el incremento de los rendimientos en los cultivos lo que refleja el aumento en la disponibilidad de agua y la solubilización de los nutrientes presentes en el suelo y que de esta forma las plantas los pueden absorber.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>			<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>	
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>		<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	


## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para iniciar el análisis estadístico se realizó la prueba de normalidad de la información obtenida en laboratorio por medio del método Shairo y Wilks modificado, obteniendo la Tabla 7:

**Tabla 7**

*Prueba de Normalidad de las Variables Analizadas*


Variable	Profundidad de Suelo Evaluada: 0 - 30 cm						Profundidad de Suelo Evaluada: 30 - 60 cm					
	n	Medi a	D.E.	W*	p(Unilater alD)	Tipo de Distribución	n	Medi a	D.E.	W*	p(Unilater alD)	Tipo de Distribución
Arena	9	39,26	6,89	0,96	0,8758	Distribución normal	9	42,29	11,65	0,91	0,4463	Distribución normal
Limo	9	27,72	4,33	0,87	0,2024	Distribución normal	9	25,06	4,18	0,88	0,2508	Distribución normal
Arcilla	9	33,01	3,93	0,93	0,6207	Distribución normal	9	32,65	8,58	0,98	0,967	Distribución normal
0,3bar	9	26,89	4,08	0,92	0,5009	Distribución normal	9	25,19	5,24	0,92	0,5211	Distribución normal
1bar	9	26,34	3,99	0,92	0,5009	Distribución normal	9	24,68	5,13	0,92	0,5211	Distribución normal
3bar	9	24,69	3,74	0,92	0,5009	Distribución normal	9	23,13	4,81	0,92	0,5211	Distribución normal
5bar	9	23,04	3,49	0,92	0,5009	Distribución normal	9	21,58	4,49	0,92	0,5211	Distribución normal
10bar	9	18,91	2,87	0,92	0,5009	Distribución normal	9	17,71	3,68	0,92	0,5211	Distribución normal
15bar	9	14,78	2,24	0,92	0,5009	Distribución normal	9	13,84	2,88	0,92	0,5211	Distribución normal
AA	9	12,12	1,84	0,92	0,5009	Distribución normal	9	11,35	2,36	0,92	0,5211	Distribución normal
tamiz10	9	9,58	5,39	0,82	0,0560	Distribución normal	9	12,64	9,14	0,82	0,0561	Distribución normal
tamiz20	9	7,53	5,14	0,82	0,0474	No distribución normal	9	11,68	10,87	0,79	0,0201	No distribución normal
tamiz35	9	14,16	4,94	0,85	0,1063	Distribución normal	9	12,64	5,11	0,9	0,3946	Distribución normal
Tamiz20+35	9	21,68	8,64	0,9	0,3946	Distribución normal	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>	
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	

Profundidad de Suelo Evaluada: 0 - 30 cm						Profundidad de Suelo Evaluada: 30 - 60 cm						
Variable	n	Medi a	D.E.	W*	p(Unilater alD)	Tipo de Distribución	n	Medi a	D.E.	W*	p(Unilater alD)	Tipo de Distribución
tamiz60	9	16,36	10,45	0,67	0,0010	No distribución normal	9	8,6	3,24	0,93	0,6312	Distribución normal
tamiz<60	9	52,38	12,71	0,91	0,4362	Distribución normal	9	54,44	14,38	0,92	0,5589	Distribución normal
IndiceEsta b	9	0,67	0,34	0,93	0,6335	Distribución normal	9	0,55	0,34	0,89	0,3179	Distribución normal
CO	9	1,34	0,6	0,92	0,4934	Distribución normal	9	1,07	0,46	0,92	0,484	Distribución normal
MO	9	2,32	1,03	0,92	0,4890	Distribución normal	9	1,84	0,79	0,92	0,4813	Distribución normal
MOMufla	9	2,85	0,47	0,97	0,9295	Distribución normal	9	2,38	0,79	0,87	0,2047	Distribución normal
VI(mm/h)	9	0,94	0,68	0,85	0,1050	Distribución normal	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Ks(cm/h)	9	3,25	3,02	0,9	0,3400	Distribución normal	9	1,08	0,66	0,91	0,4201	Distribución normal
Microporos	9	26,89	4,08	0,92	0,5009	Distribución normal	9	25,19	5,24	0,92	0,5211	Distribución normal
Mmporos	9	73,11	4,08	0,92	0,5009	Distribución normal	9	74,81	5,24	0,92	0,5211	Distribución normal
PT	9	50,36	1,74	0,96	0,8657	Distribución normal	9	49,44	1,83	0,93	0,5862	Distribución normal
MR	9	2,51	1,55	0,88	0,2170	Distribución normal	9	2,34	0,84	0,93	0,615	Distribución normal
Hopt1	9	0,21	0,03	0,97	0,9334	Distribución normal	9	0,23	0,03	0,94	0,6546	Distribución normal
Hopt2	9	0,23	0,02	0,9	0,3506	Distribución normal	9	0,21	0,03	0,91	0,475	Distribución normal
Dref	9	1,69	0,05	0,97	0,8885	Distribución normal	9	1,75	0,05	0,91	0,4297	Distribución normal
Dopt	9	1,47	0,04	0,97	0,8885	Distribución normal	9	1,48	0,04	0,91	0,4297	Distribución normal
Dan	9	1,32	0,05	0,96	0,8657	Distribución normal	9	1,34	0,05	0,93	0,5862	Distribución normal
Compactacion	9	77,98	0,81	0,94	0,6715	Distribución normal	9	78,72	1,46	0,83	0,0753	Distribución normal
Da(Mg/m <sup>3</sup> )	9	1,52	0,1	0,92	0,5582	Distribución normal	9	1,51	0,08	0,9	0,3849	Distribución normal

Fuente: Elaboración Propia

Con las variables que no presentaron distribución normal, se analizaron mediante la variable trasformada (1/h), lo que permitió confirmar las diferencias significativas presentadas en la Tabla 8.


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

De las propiedades evaluadas, 5 presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de estas el carbono orgánico (COS) y la materia orgánica del suelo (MOS) mostró diferencias altamente significativas ( $p < 0,01$ ). Esto indica que los tratamientos fueron eficientes incorporando materia orgánica al suelo; sin embargo, no se obtuvieron respuestas en algunas de sus propiedades que son muy susceptibles al cambio del contenido de COS o MOS (Tabla 8). De esto también se evidenció la tendencia en las propiedades que no fueron significativas a un  $p=0.05$ , razón por la que se amplió el valor de significancia a  $p\text{-valor}=0.20$ , tal como lo justifican en sus trabajos (Hernandez & Gutierrez, 2013; Lopez, Zerbino, & Alvarez, 2013) de investigación en campo donde las condiciones ambientales no son controladas de la misma forma tal como ocurre en estudios que se realizan en laboratorio (J. Muñoz, comunicación personal, 29 de septiembre de 2020)

## Tabla 8

*Significancia Estadística ( $p < 0.2$ ) Determinada para las Propiedades Evaluadas*

<b>SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA</b>				
<b>Propiedad</b>	<b>Prof. 0-30</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Prof. 30-60</b>	<b>Interpretación</b>
Arcilla	0,351	Diferencias no significativas	0,928	Diferencias no significativas
Limo	0,787	Diferencias no significativas	0,447	Diferencias no significativas
Arena	0,558	Diferencias no significativas	0,914	Diferencias no significativas
0,3bar	0,185	Diferencias significativas	0,908	Diferencias no significativas
15bar	0,185	Diferencias significativas	0,908	Diferencias no significativas
AA	0,185	Diferencias significativas	0,908	Diferencias no significativas
tamiz20	0,0123	Diferencias significativas	0,917	Diferencias no significativas
tamiz35	0,47	Diferencias no significativas	0,142	Diferencias significativas
tamiz				
20+35	0,053	Diferencias significativas	0,949	Diferencias no significativas
tamiz60	0,524	Diferencias no significativas	0,148	Diferencias significativas

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

### SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA

<b>Propiedad</b>	<b>Prof. 0-30</b>	<b>Interpretación</b>	<b>Prof. 30-60</b>	<b>Interpretación</b>
tamiz<60	0,213	Diferencias no significativas	0,843	Diferencias no significativas
IndiceEstab	0,361	Diferencias no significativas	0,871	Diferencias no significativas
CO	0,114	Diferencias significativas	0,0066	Diferencias altamente significativas (p<0,01)
MO	0,114	Diferencias no significativas	0,0065	Diferencias altamente significativas (p<0,01)
VI(mm/h)	0,133	Diferencias significativas	NA	Diferencias no significativas
Ks(cm/h)	0,014	Diferencias significativas (p<0,05)	0,528	Diferencias no significativas
PT	0,168	Diferencias significativas	0,164	Diferencias significativas
MR	0,205	Diferencias no significativas	0,891	Diferencias no significativas
Hopt1	0,168	Diferencias significativas	0,185	Diferencias significativas
Compactación	0,59	Diferencias no significativas	0,0805	Diferencias significativas
Dan (Mg/m <sup>3</sup> )	0,168	Diferencias significativas	0,164	Diferencias significativas


Fuente: Elaboración Propia

El análisis estadístico se realizó con el software estadístico de código abierto R, mediante la interfaz RStudio. Los resultados del análisis para todas las variables se pueden consultar en el anexo 1. En adelante se presenta la discusión sobre las propiedades del suelo que presentaron diferencias significativas relacionadas con los tratamientos aplicados al suelo (10, 50 y 100 Mg.m<sup>-3</sup> de MO comercial).

## 8.1. DIAGNOSTICAR LA COMPOSICIÓN MECÁNICA DEL SUELO Y EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO (MOS)

Estas características del suelo están determinadas por la textura, la plasticidad y la materia orgánica del suelo.



	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

### 8.1.1 *Textura del Suelo*

#### **Profundidad de 0 a 30 cm.**

La textura de los suelos varía desde Franco arcillosos a Franco arcillo arenosos. Con el fin de tener en cuenta el efecto de la textura del suelo sobre los tratamientos con aplicación de MO comercial, se realizó el análisis de varianza, y no se identificaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para el porcentaje de arcilla, limo y arena (Tabla 9).; lo que indica que los suelos son homogéneos, y justificó el análisis estadístico mediante un arreglo completamente al azar.


**Tabla 9**

*Textura de los Suelos Estudiados*

Tratamiento	Profundidad de 0 a 30 cm.				Profundidad de 30 a 60 cm.			
	Arena	Limo	Arcilla	Clase textura	Arena	Limo	Arcilla	Clase textura
MO-10	31,12	31,28	37,6	FAr	31,12	29,28	39,6	FAr
MO-10	43,12	27,28	29,6	FAr	45,12	29,28	25,6	FAr
MO-10	44,4	21,28	34,32	FArA	48,4	23,28	28,32	FArA
MO-50	37,12	31,28	31,6	FAr	31,12	29,28	39,6	FAr
MO-50	41,12	23,28	35,6	FAr	45,12	25,28	29,6	FAr
MO-50	29,12	33,28	37,6	FAr	45,12	21,28	33,6	FAr
MO-100	51,12	23,28	25,6	FArA	65,12	17,28	17,6	FA
MO-100	35,12	31,28	33,6	FAr	43,12	23,28	33,6	FAr
MO-100	41,12	27,28	31,6	FAr	26,4	27,28	46,32	Ar

Fuente: Elaboración Propia

#### **Profundidad de 30 a 60 cm.**


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Los componentes texturales no presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para los suelos en donde se aplicaron los tratamientos de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial (ver anexo X1). De esta manera se garantizó que los suelos son homogéneos y que el análisis estadístico se podía realizar a partir de un diseño de completamente al azar.

### **8.1.2 *Materia Orgánica del Suelo (MOS)***

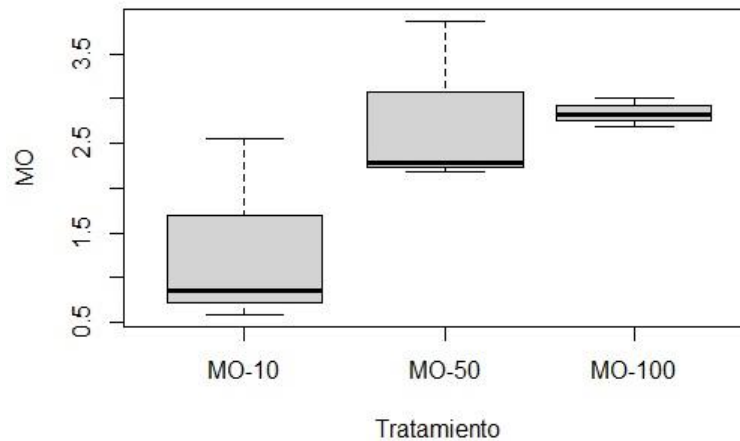
#### **Profundidad de 0 a 30 cm.**

El contenido de materia orgánica presentó significancia con un p-valor de 0.114 (Tabla 9, ver anexo X1), que para estudios en campo se acepta como significativo. A partir de la prueba de Tukey se identificó diferencias en la MOS para los tratamientos a los que se aplicó una dosis baja (10 Mg.ha<sup>-1</sup>) y dosis altas (50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup>) de MO comercial, sin embargo no se identificaron diferencias significativas entre las dosis de mayor magnitud (Figura 7, ver anexo X1).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Figura 7**

*Variación de la MO del Suelo Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial en la Capa de 0-63 cm*




Fuente: Elaboración Propia

De lo anterior, se concluye que la respuesta del suelo es estadísticamente igual si se aplican al suelo 50 o 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial, y que tras un año de aplicada y estabilizada, tal como lo indica (Haynes & Naidu, 1998) permitió un incremento en la MOS de 1.33 a 2.78 y 2.84%, respectivamente para las dosis aplicadas de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial.

### **Profundidad de 30 a 60 cm.**

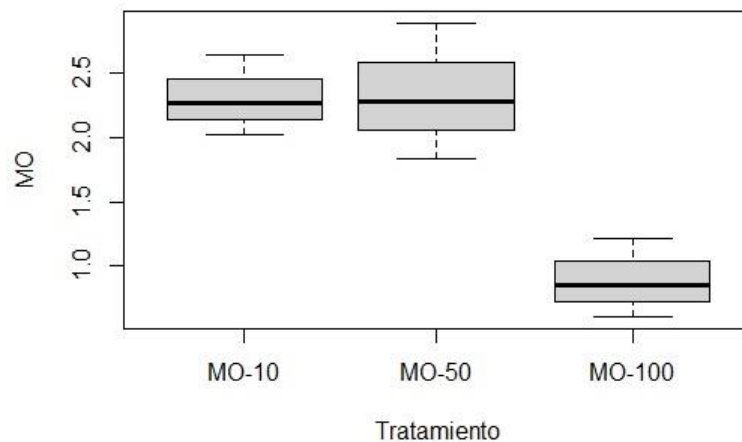
La MOS presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) con los tratamientos de MO comercial aplicada al suelo (Tabla 9, ver anexo X1). A partir de la prueba de Tukey se encontró que la MOS no presentó variaciones frente a la aplicación de 10 y 50 Mg.ha<sup>-1</sup>,

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

mientras que con la aplicación de 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial la MOS disminuye (Figura 8).

### Figura 8

*Variación de la MOS Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial en la Capa de 30-60 cm*



Fuente: Elaboración Propia

Este comportamiento puede ser originado por inapropiada incorporación y distribución de la MO comercial aplicada en el volumen del suelo, lo que lleva a tomar muestras de suelos en donde la MO aplicada no llega. Esto se concluye dado que la aplicación de la MO en la profundidad entre 30 y 60 cm, fue realizada sobre el fondo del surco, y sin realizar una labor de incorporación con todo el volumen del suelo.

#### 8.1.3 Humedad Óptima de Labranza (*Hopt1*)

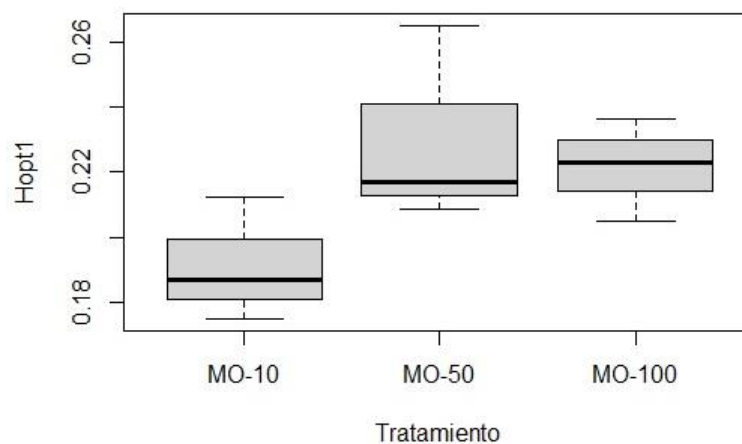
	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Profundidad de 0 a 30 cm.**


La humedad óptima de labranza presentó un p-valor de 0.168 (Tabla 9, ver anexo X1), significancia que es aceptable para investigaciones en campo. De la consistencia del suelo, desde el contexto conservacionista o ambiental, cobra mayor importancia conocer la humedad óptima de labranza o límite se soltura antes que su límite de plasticidad. Este parámetro se estimó a partir de la información de textura y materia orgánica determinada a los suelos estudiados, y a través del modelo de desmoronamiento capilar (Mosaddeghi, Morshedizad, Mahboubi, Dexter, & Schulin, 2009). La Hopt1 muestra una correlación positiva con las dosis aplicadas de MO comercial (Figura 9).

**Figura 9**

*Variación de la Humedad Óptima de Labranza (Hopt1) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial en la Capa de 30-60 cm*




Fuente: Elaboración Propia

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

A partir de lo mencionado, se concluye que el aumento de la MOS genera un incremento de la Hopt1, esto debido al incremento de la MOS además de mejorar la estabilidad de los agregados también incrementa la humedad óptima de labranza o límite de soltura (Dexter & Bird, 2001; Munkholm, Schjønning, & Kay, 2002).

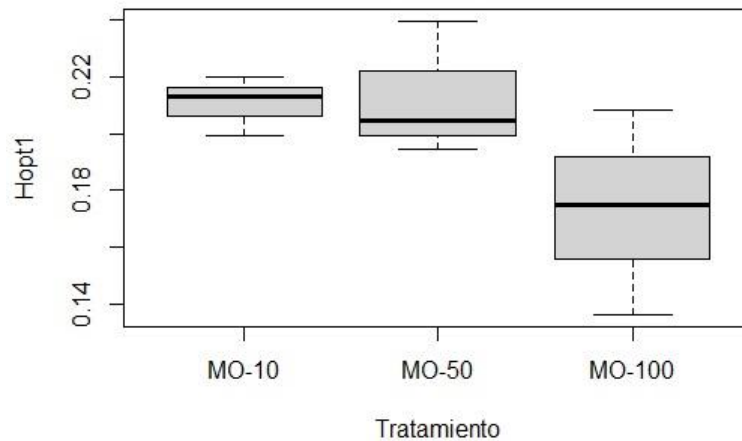
### **Profundidad de 30 a 60 cm.**

La Hopt1 presentó un p-valor= 0.185 (Tabla 9, ver anexo X1), significancia que se acepta para investigaciones en campo. Este parámetro se estimó con la información de textura y MOS determinadas a los suelos en estudio, y mediante la relación de pedotransferencia denominado desmoronamiento capilar (Mosaddeghi, Morshedizad, Mahboubi, Dexter, & Schulin, 2009). La Hopt1 muestra una correlación negativa con las dosis aplicadas de MO comercial (Figura 10).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Figura 10**

*Variación de la Humedad Óptima de Labranza (Hopt1) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 30-60 cm*




Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento de la Hopt1 no es coherente con las dosis aplicadas de MO comercial. Esto se debe a que no se incorporó la MO comercial aplicada al suelo en el fondo del surco, de esta manera quedando la MO en un solo punto del volumen del suelo, contrario a como se incorporó y homogeneizó la MO aplicada en el suelo a una profundidad entre 0 y 30 cm.

## **8.2. DIAGNOSTICAR LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES Y LA DINÁMICA ESTRUCTURAL DEL SUELO SUPERFICIAL**

### **8.2.1 Densidad Aparente [Dan(Mg.m<sup>-3</sup>)]**

**Profundidad de 0 a 30 cm.**

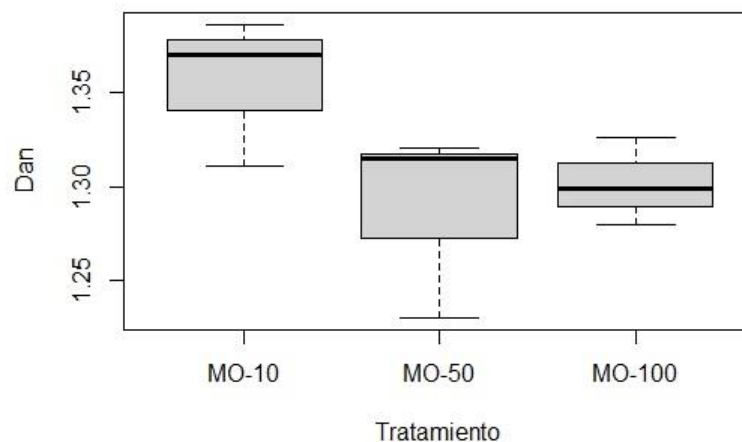
	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

La densidad aparente (Dan) del suelo presentó un p-valor= 0.168 (Tabla 9, ver anexo X1); significancia que se puede considerar apropiada para definir diferencias en trabajos de investigación en campo donde no se tiene control total sobre las condiciones de los ensayos.

La Dan muestra una correlación negativa con los tratamientos de MO comercial aplicada, así mismo, la prueba de Tukey permite verificar que para los tratamientos de 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup>, la Dan del suelo no muestra diferencias significativas, sin embargo la correlación es correcta, porque con el aumento de la MOS y la MO comercial aplicada, la Dan disminuye (Figura 11).


**Figura 11**

*Variación de la Densidad Aparente (Mg.m<sup>-3</sup>) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm*



Fuente: Elaboración Propia




	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Este comportamiento de la Dan con relación a la aplicación de materiales orgánicos compostados también la encontraron (Liyue, Guanglei, Yong, Caihong, & Wenjing, 2016) al aplicar hasta 17.7 Mg.ha<sup>-1</sup> de bovinaza al suelo.

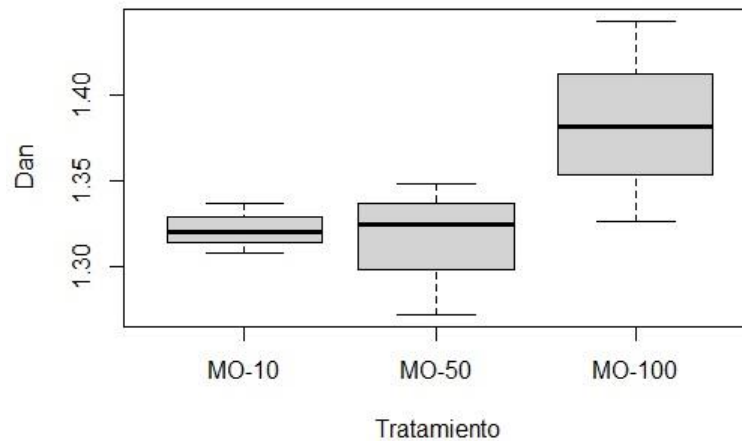
**Profundidad de 30 a 60 cm.**

La densidad aparente del suelo presentó un p-valor= 0.164 (Tabla 9, ver anexo X1); significancia apropiada para definir diferencias en trabajos de investigación en campo. La densidad aparente muestra una correlación positiva con los tratamientos de MO comercial aplicada. Mediante la prueba de Tukey se verificó que los tratamientos en los que se aplicó 10 y 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial, el suelo no presentó diferencias significativas, mientras que al aplicar 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial, la Dan se incrementa (Figura 12).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Figura 12**

*Variación de la Densidad Aparente ( $Mg.m^{-3}$ ) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100  $Mg.ha^{-1}$  de MO Comercial, en la Capa de 30-60 cm*




Fuente: Elaboración Propia

Este comportamiento puede responder a que el suelo en la capa entre 30 y 60 cm de profundidad no se homogeneizó, ni se incorporó la MO comercial aplicada, quedando gran volumen del suelo sin remover; así el comportamiento responde a fenómenos de consolidación natural del suelo y no al efecto de la MO aplicada (Figura 12).

### 8.2.2 Porosidad Total [PT]

#### Profundidad de 0 a 30 cm.

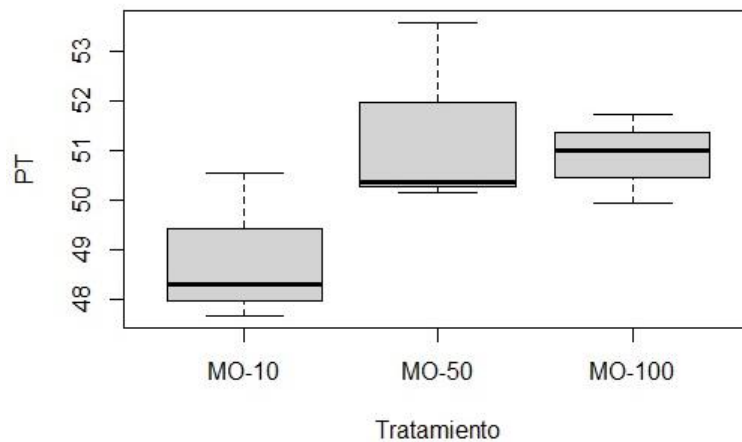
La porosidad total presentó un p-valor=0.168 (Tabla 9, ver anexo X1), que se puede asumir significativo para efectos de investigación en campo. Mediante la prueba de Tukey se verificó

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

que la aplicación de 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial al suelo, generó un incremento significativo en la PT, sin que fueran significativos entre sí (Figura 13).

### Figura 13

*Variación de la Porosidad Total (PT) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm*




Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 13 se observa una correlación positiva entre la PT y las dosis de MO comercial aplicada al suelo, que a su vez correlaciona con el aumento de la MOS, tal como lo afirma (Attila, Walter, & Yakov, 2005) en el análisis de la influencia de la MOS sobre la estimación de la conductividad hidráulica saturada.

### Profundidad de 30 a 60 cm.

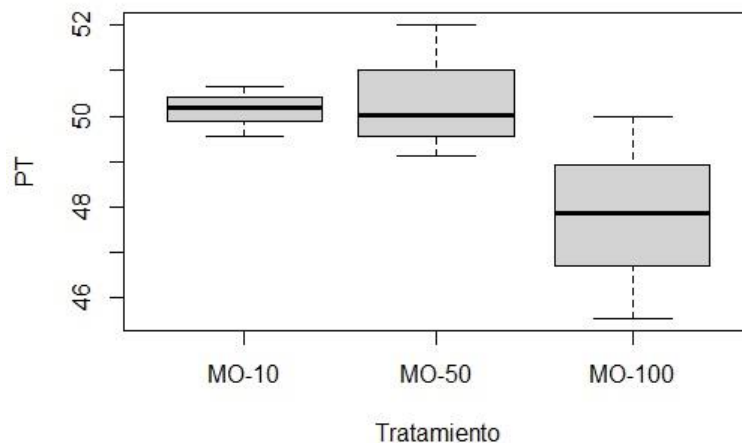
La porosidad total presentó un p-valor=0.164 (Tabla 9, ver anexo X1), que se asume significativo para efectos de investigación en campo. Con la prueba de Tukey se verificó que

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

la PT no presentó diferencias estadísticas para los tratamientos aplicados de 10 y 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial al suelo, mientras que para la dosis de 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial aplicada al suelo generó una disminución estadísticamente significativa en la PT.

#### **Figura 14**

*Variación de la Porosidad Total (PT) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 30-60 cm*



Fuente: Elaboración Propia

Este comportamiento puede responder a que el suelo en la capa entre 30 y 60 cm de profundidad no se homogeneizó, ni se incorporó la MO comercial aplicada, quedando gran volumen del suelo sin remover; así el comportamiento responde a fenómenos de consolidación natural del suelo y no a los tratamientos con MO aplicada (Figura 14).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

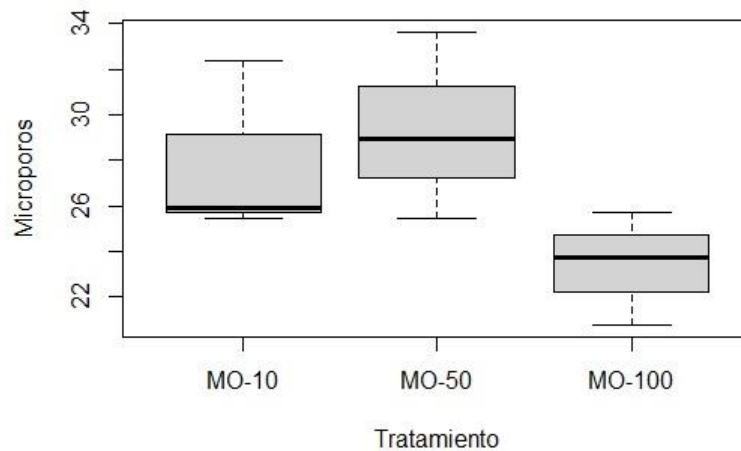
### 8.2.3 Microporosidad (Microporos)

#### Profundidad 0 a 30 cm.

Los microporos presentaron un  $p$ -valor= 0.185, que se considera significativo para investigación en campo (Tabla 9, ver anexo X1). La prueba de Tukey no definió diferencias significativas en la microporosidad para los tratamientos de 10 y 50  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , contrario a lo que se encontró para la dosis de 100  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Figura 15).


#### Figura 15

*Variación de la Microporosidad Total (Microporos) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm*



Fuente: Elaboración Propia

De la Figura 15, se puede interpretar la correlación positiva entre la microporosidad y las dosis de 50  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , mientras que para 100  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  se aprecia una correlación negativa. De

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

la gráfica 9, se interpreta que la aplicación de altas dosis de MO comercial, genera disminución en la microporosidad del suelo, tal como lo afirman (Silva, Peñarete, Urrutia, Daza, & Torrez, 2013), evaluando el efecto de la aplicación de biosólidos sobre las propiedades físicas del suelo.

### **Profundidad 30 a 60 cm.**


La microporosidad no presenta diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Esto puede responder a que el suelo en la capa entre 30 y 60 cm de profundidad no se homogeneizó, ni se incorporó la MO comercial aplicada, quedando gran volumen del suelo sin remover; así el comportamiento responde a fenómenos de consolidación natural del suelo y no al efecto de la MO aplicada.

#### **8.2.4 MR Módulo de Ruptura [MR]**

El módulo de ruptura no presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en las dos profundidades. Esto puede responder a que durante el muestreo se generaran fracturas en las muestras obtenidas con cilindros y estos son los utilizados para esta determinación.

#### **8.2.5 Porcentaje de Agregados Retenidos en Tamices 20\*35**

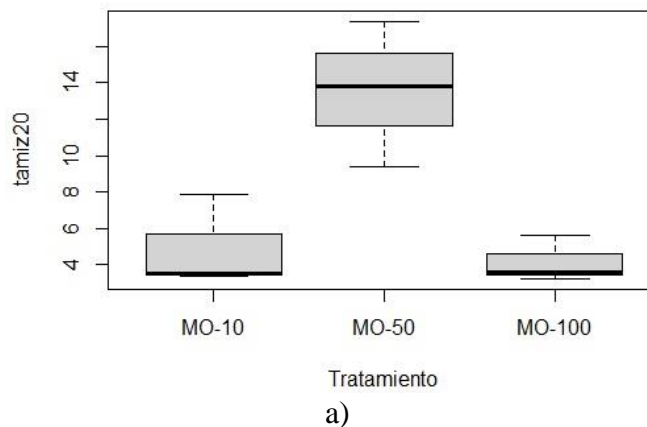
### **Profundidad de 0 a 30 cm.**


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

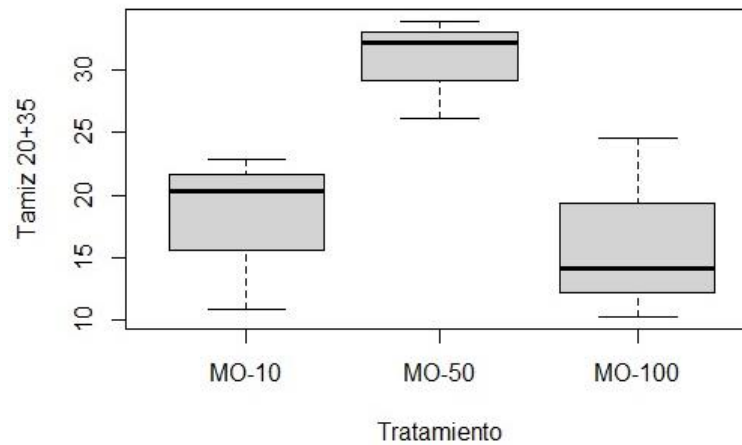
El porcentaje de agregados retenidos en el tamiz 20 (0.85 mm) y la suma de los retenidos en los tamices 20 y 35, presentaron p-valor de 0.0123 y 0.053, respectivamente (Tabla 9, ver anexo X1). A través de la prueba de Tukey se identificó que al aplicar 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO, se mejora la estabilidad de los agregados, mientras que la respuesta del suelo a la aplicación de 10 o 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial es similar (Figura 16 a y b). En las gráficas X10 se evidencia que el tratamiento en el que se aplicó 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial, es el que presentó mayor porcentaje de agregados retenidos en los tamices 20, y el mismo resultado se obtiene al sumar agregados retenidos en los tamices 20 y 35. Estos resultados se corroboran con lo que encontró (Peña Artunduaga, 2015) en suelos cultivados con caña de azúcar en el Valle del Cauca, quien al evaluar el efecto de la MOS in situ sobre la estabilidad estructural del suelo, concluyó que los agregados dominantes y más estables fueron los retenidos en los tamices 20 y 35.

### Figura 16

*Variación del Porcentaje de Agregados Retenidos en los Tamices 20 (a) y 35 (b) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm*



	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>



b)


Fuente: Elaboración Propia

Con relación a esto último, se recomienda realizar estudios que busquen entender por qué cuando la dosis de MO aplicada es muy alta, esta no tiene un efecto positivo sobre la estabilidad de los agregados, dado que (Oades & Waters, 1991) indican que para la formación de los macroagregados, los agentes estabilizantes parecen ser compuestos de MO que actúan como aglutinantes y cementantes, entre otros como los óxidos, hidróxidos y oxihidróxidos de hierro (Fe), manganeso (Mn), aluminio (Al), silicio (Si), aluminosilicatos y carbonatos.

### **Profundidad de 30 a 60 cm.**

El porcentaje de agregados retenidos en el tamiz 20, ni la suma de ellos con los del tamiz 35, no presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Tabla 9, ver anexo X1). Esto puede responder a que el suelo en la capa entre 30 y 60 cm de profundidad no se homogeneizó, ni se incorporó la MO comercial aplicada, quedando gran volumen del suelo sin remover; así



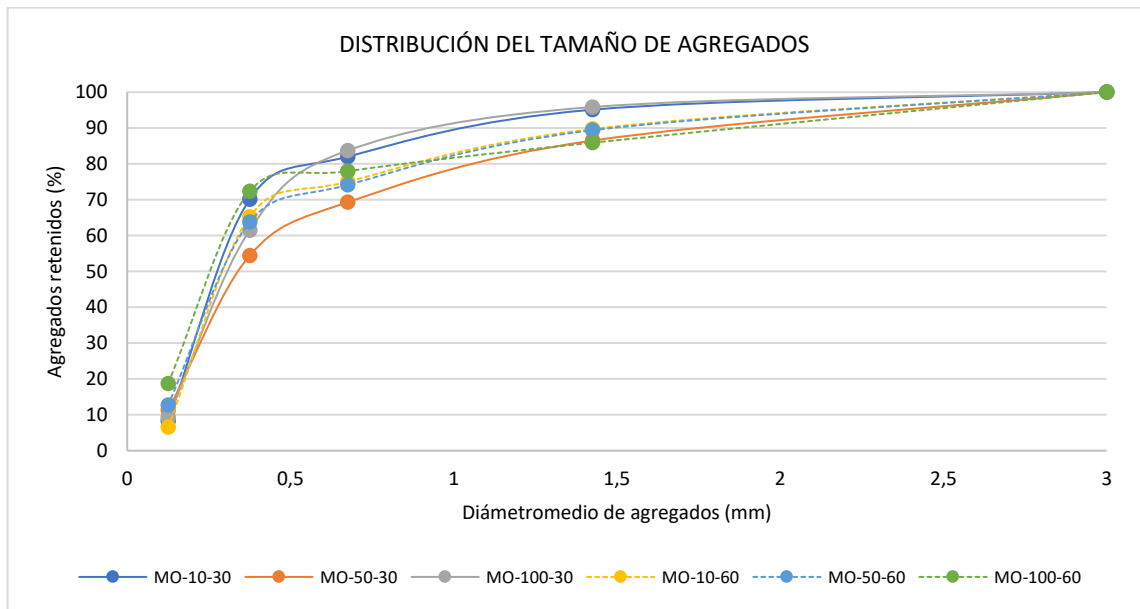
	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

el comportamiento responde a fenómenos de consolidación natural del suelo y no al efecto de la MO aplicada.

### Distribución del tamaño de agregados del suelo


**Figura 17**

*Variación en la Distribución del Tamaño de Agregados Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial*



Fuente: Elaboración Propia

De la Figura 17, se interpreta que los suelos presentan un desbalance en la distribución de agregados, donde hay dominio de los finos (< 0.25 mm), que a su vez son los más susceptibles

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

a ser arrastrados por el agua de escorrentía; así mismo, se observa que en superficie (de 0 a 30 cm) estos agregados representan hasta el 70% en peso.


### **8.2.6 Índice de Estabilidad [IndiceEstab]**

El índice de estabilidad no presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Tabla 9, ver anexo X1) en dos capas del suelo ubicadas a profundidades entre 0 a 30 cm y 30 a 60 cm.

### **8.2.7 Microagregados**

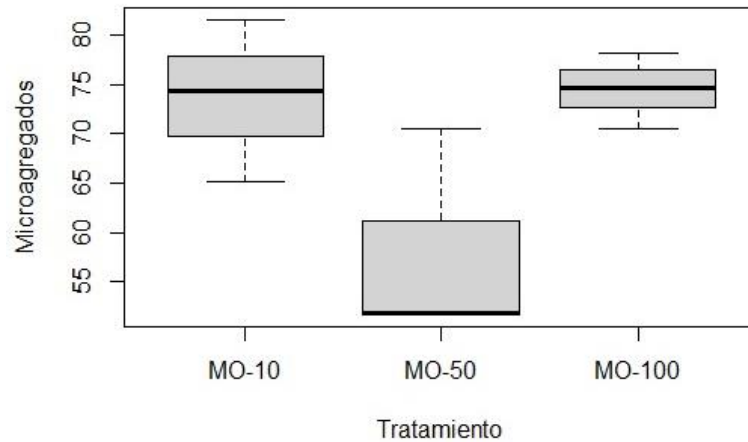
#### **Profundidad de 0 a 30 cm.**

Al analizar los microagregados del suelo (de diámetro  $< 0.375\text{mm}$ ), se encontró diferencias significativas a un p-valor  $< 0.1$  (Tabla 9, ver anexo X1). (Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2017) indica que la interacción de la MO con los minerales explica la formación de los microagregados, y por su parte (Lehmann & Kleber, 2015) sugiere que desde materiales vegetales hasta ácidos orgánicos oxidados de bajo peso molecular son los responsables de la formación y la estabilidad de los microagregados.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Figura 18**

*Variación de los Microagregados Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm*




Fuente: Elaboración propia

Apoyados en las anteriores conclusiones, la prueba de Tukey, y conociendo que los agregados más erodables son los de menor tamaño (Lopez Thomaz, 2012); se puede concluir que la aplicación de 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial (Figura 18), generó en el suelo menor porcentaje de microagregados, lo que sugiere que estos suelos presentan mayor estabilidad a procesos erosivos.

### **Profundidad de 30 a 60 cm.**

La microporosidad no presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) (Tabla 9, ver anexo X1). Esto puede responder a que el suelo en la capa entre 30 y 60 cm de profundidad no se homogeneizó, ni se incorporó la MO comercial aplicada, quedando gran volumen del suelo

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

sin remover; así el comportamiento responde a fenómenos de consolidación natural del suelo y no al efecto de la MO aplicada.

### **8.3. DIAGNOSTICAR LA PENETRACIÓN Y CIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO**

#### **8.3.1 Conductividad Hidráulica Saturada ( $K_s$ (cm/h))**

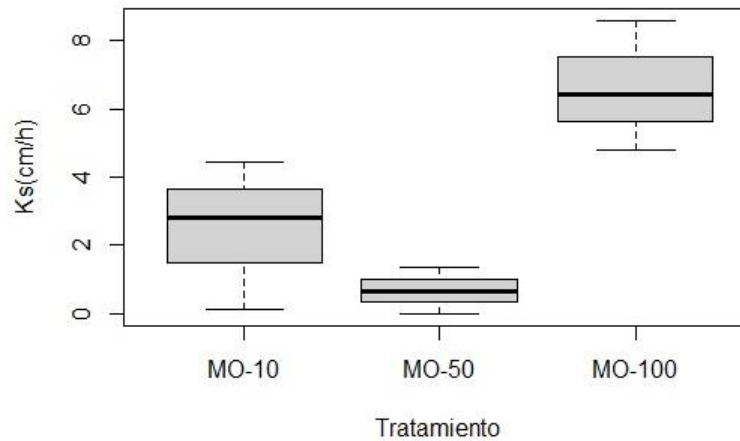
##### **Profundidad de 0 a 30 cm.**

La conductividad hidráulica saturada presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para los tratamientos evaluados (Tabla X2, ver anexo X1). En la Figura 19, se observa la correlación positiva entre la  $K_s$  y la dosis aplicada de  $100 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de MO comercial, y a su vez una correlación negativa para la dosis de  $50 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de MO comercial. En este sentido (Attila, Walter, & Yakov, 2005) a partir de bases de datos de EE.UU, Hungría y la HYPRES Europea, desarrollaron modelos de pedotransferencia para la  $K_s$ , en los que encontraron correlaciones similares teniendo la MOS como variable de entrada; así mismo, (Ipaz Cuastumal, 2010) evidenció este tipo de correlaciones entre la  $K_s$  y el porcentaje de fragmentos gruesos del suelo.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Figura 19**

*Conductividad Hidráulica Saturada Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO*




Fuente: Elaboración Propia

De la interpretación de los estudios referenciados y del análisis de la información suministrada por la prueba de Tukey, se recomienda realizar estudios que permitan dilucidar el comportamiento de la Ks frente a la aplicación de dosis intermedias a las evaluadas en el presente estudio, y corroborar correlaciones como las presentadas por (Ipaz Cuastumal, 2010).

**Profundidad 30 a 60 cm.**

La conductividad hidráulica saturada no presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para la capa de suelo ubicada a una profundidad entre 30 y 60 cm. Esto puede ser respuesta a que el suelo en la capa entre 30 y 60 cm de profundidad no se homogeneizó, ni se incorporó la MO

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

comercial aplicada, quedando gran volumen del suelo sin remover; así el comportamiento responde a fenómenos de consolidación natural del suelo y no al efecto de la MO aplicada.

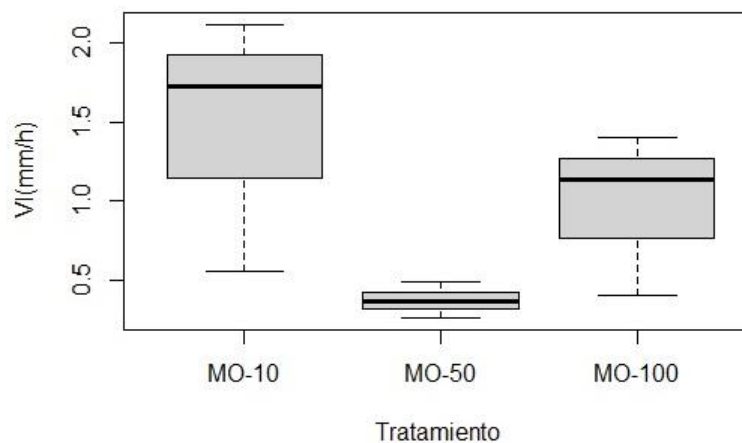
### 8.3.2 *Velocidad de Infiltración (VI)*

#### **Profundidad 0 a 30 cm.**


La VI presentó un p-valor de 0.133, que para efectos de trabajos de investigación en campo es significativo (Tabla 9, ver el anexo X1). La prueba de Tukey permitió verificar que la VI del suelo presentó diferencias significativas entre la aplicación de 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial y las otras dosis aplicadas al suelo (Figura 20).

#### **Figura 20**

*Variación de la Velocidad de Infiltración (VI) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm*



Fuente: Elaboración Propia

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


En la Figura 20, también se observa la correlación negativa entre la VI y las dosis altas de aplicación de MO comercial; contrario a lo que plantean (Adeyemo, Akingbola, & Ojeniyi, 2019) de que la aplicación de MO (estiércol de aves de corral) al suelo permite mejorar su velocidad de infiltración. Así las cosas, se recomienda realizar ensayos en laboratorio que permitan dilucidar lo que ocurre entre estas propiedades del suelo evaluadas.

#### **8.4. DIAGNOSTICAR LA RETENCIÓN DE AGUA**

Las características acá evaluadas presentaron p-valores < 0.20 (Tabla 9, ver anexo X1), y estas diferencias significativas se observaron solo en la capa del suelo entre las profundidades de 0 a 30 cm.

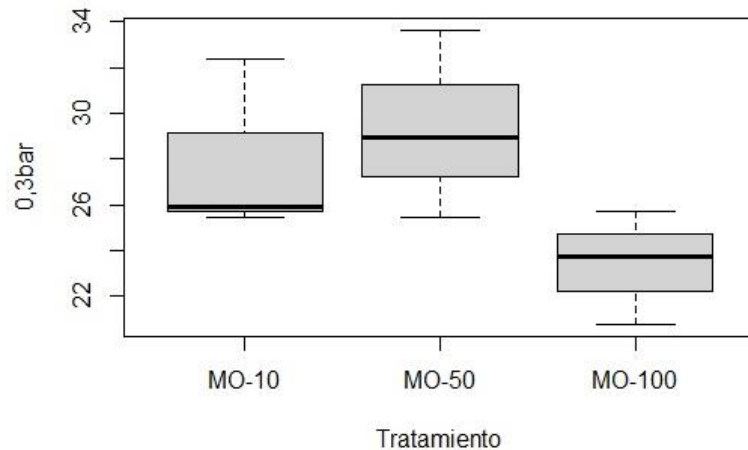
##### **8.4.1 Capacidad de Campo (0.3bar)**

(Adeyemo, Akingbola, & Ojeniyi, 2019) encontraron que al aplicar bovinaza al suelo (30 Mg.ha<sup>-1</sup>) mejoraron la estabilidad de los agregados y la capacidad de retención de agua. La prueba de Tukey indica que la capacidad de campo presentó diferencias significativas entre los tratamientos de 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial y las aplicaciones de 10 y 50 Mg.ha<sup>-1</sup>; sin embargo, la correlación solo es positiva para las dosis menores, mientras para la dosis mayor la correlación es negativa (Figura 21).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

**Figura 21**

*Variación de la Capacidad de Campo (0.3bar) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm*




Fuente: Elaboración Propia

Tras esta disyuntiva entre lo encontrado en la investigación y lo que otros autores sugieren, se recomienda realizar ensayos a nivel de laboratorio que permitan establecer relaciones claras con los suelos analizados.

De acuerdo con los criterios de (Pla Sentis, 1983) estos suelos presentan condiciones ideales de retención de agua, esto significa que suministran agua a las plantas de manera adecuada, pese a que las plantas solo reciban aportes a través de lluvias.



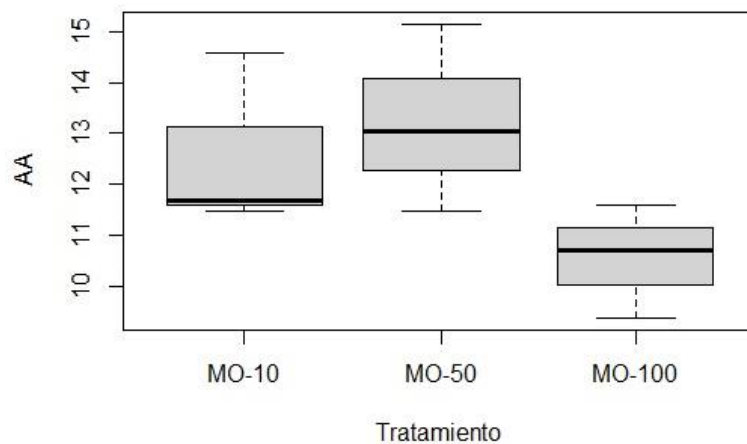
	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

#### 8.4.2 Agua Aprovechable (AA)

De acuerdo con los lineamientos de (Pla Sentis, 1983), los suelos tienen la capacidad de retener y suministrar el agua de forma apropiada a las plantas, ya que el AA es superior al 10% (Figura 22).


#### Figura 22

*Variación del Agua Aprovechable (AA) Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm*



Fuente: Elaboración Propia

De la gráfica X16, se puede concluir que entre el AA y el tratamiento que aplica 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial existe una correlación positiva, mientras con la dosis de 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial la correlación es negativa. Bajo estas consideraciones es necesario realizar ensayos con el objetivo de encontrar las relaciones existentes entre estos parámetros.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

## **8.5. DIAGNOSTICAR LOS PROBLEMAS DE COMPACTACIÓN Y ENCOSTRAMIENTO DEL SUELO**


### *8.5.1 Módulo de Ruptura*

El módulo de ruptura no presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (Tabla 9, ver el anexo X1) en las dos capas de suelos estudiadas.

### *12.1.1 Compactación*

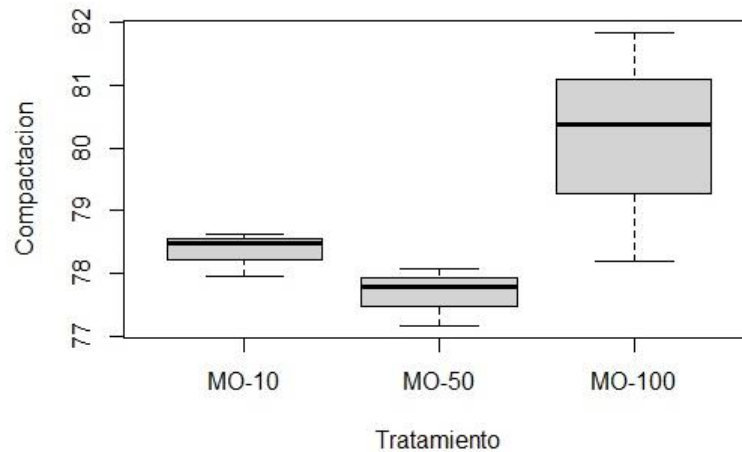
#### **Profundidad de 30 a 60 cm.**

El grado de compactación se estimó mediante el modelo presentado por (Keller & Håkansson, 2010) y que usa como información de entrada la textura y el contenido de MOS o el COS. Este presentó un p-valor de 0.0805 (Tabla 9, ver anexo X1), el que se considera adecuado para identificar diferencias significativas en investigación en campo. La prueba de Tukey permitió definir que el grado de compactación no presentó diferencias para las dosis aplicadas al suelo de 10 y 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial, mientras que estas si presentan diferencia significativa con la dosis de 100 Mg.ha<sup>-1</sup>.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


**Figura 23**

*Variación del Grado de Compactación Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm*



Fuente: Elaboración Propia

Sin embargo, la correlación entre el grado de compactación y la MO comercial aplicada al suelo es positiva. Esto puede ocurrir porque el suelo en la capa entre 30 y 60 cm de profundidad no se homogeneizó, ni se incorporó la MO comercial aplicada, quedando gran volumen del suelo sin remover; así el comportamiento responde a fenómenos de consolidación natural del suelo y no al efecto de la MO aplicada. Por su parte (Muhammad, Guilhem, & Fabienne, 2012) indican que el incremento de la MOS, que es proporcional a la dosis de MO comercial aplicada al suelo, reduce la susceptibilidad a la compactación. De esta forma es necesario realizar ensayos en laboratorio que permitan aclarar el comportamiento del grado de compactación bajo las condiciones de los suelos estudiados.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

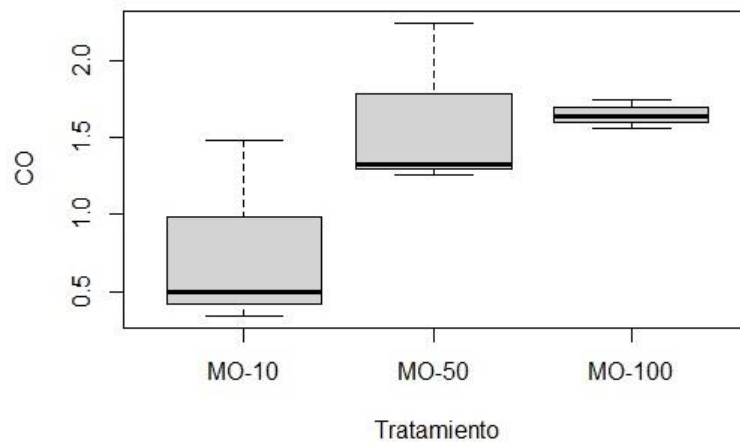
## 8.6. CAPTURA DE CARBONO EN EL SUELO (COS) A PARTIR DEL AUMENTO DE LA MOS

### Profundidad de 0 a 30 cm.

El COS presentó un p-valor=0.114 (Tabla 9, ver anexo X1), que es significativo para estudios en campo. La prueba de Tukey identificó diferencias en la MOS para los tratamientos a los que se aplicó una dosis baja (10 Mg.ha<sup>-1</sup>) y dosis altas (50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup>) de MO comercial, sin embargo no se identificaron diferencias significativas entre las dosis de mayor magnitud (Figura 24).

### Figura 24

*Variación del Carbono Orgánico del Suelo Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial, en la Capa de 0-30 cm*



Fuente: Elaboración Propia


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

La Figura 24 indica que el suelo puede almacenar 0.77% de CO si a este se e aplica 10 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial, 1.61% de CO si se le aplica 50 Mg.ha<sup>-1</sup>, y 1.65% de CO si se aplica la dosis de MO comercial de 100 Mg.ha<sup>-1</sup>; esto demuestra la capacidad que tiene el suelo de almacenar de carbono, y con ello contribuir con la atenuación del efecto de calentamiento global (Stockmann, Adams, Crawford, & Field, 2013; Fernández Pérez, Cely, & Serrano, 2019).

De otro lado (Michel, 2002) indica que el suelo tiene una máxima capacidad para almacenar COS. Así, con la mayor aplicación de MO comercial el suelo (100 Mg.ha<sup>-1</sup>) quizá el suelo ya está alcanzando su máxima capacidad de captura de carbono, que es contraproducente porque cuando el suelo se satura, se inicia la liberación de COS a través del proceso de mineralización.

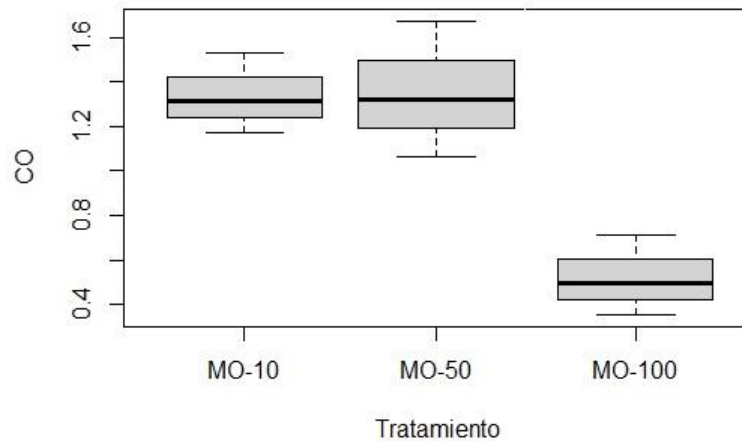
### **Profundidad de 30 a 60 cm.**

El COS presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) con los tratamientos de MO comercial aplicada al suelo (Tabla 9, ver anexo X1). A partir de la prueba de Tukey se encontró que el COS no presentó variaciones frente a la aplicación de 10 y 50 Mg.ha<sup>-1</sup>, mientras que con la aplicación de 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial el COS disminuye (Figura 25).

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


**Figura 25**

*Variación del COS Bajo la Aplicación de 10, 50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO Comercial en la Capa de 30-60 cm*



Fuente: Elaboración Propia

Este comportamiento puede ser originado por inapropiada incorporación y distribución de la MO comercial aplicada en el volumen del suelo, lo que lleva a tomar muestras de suelos en donde la MO aplicada no llega. Esto se concluye dado que la aplicación de la MO en la profundidad entre 30 y 60 cm, fue realizada sobre el fondo del surco, y sin realizar una labor de incorporación con todo el volumen del suelo.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


## 9. CONCLUSIONES

El manejo ambiental del suelo a través del suministro de materia orgánica como productos comerciales (bovinaza, gallinaza, o mezclas de estos), y aplicada por medio de labores que permitieron su incorporaron y distribución en la capa entre los 0 a 30 cm de profundidad, permitió aumentar el contenido de materia orgánica del suelo (MOS).

La humedad óptima de labranza en la capa de 0 a 30 cm de profundidad varia de manera directamente proporcional con las dosis de MO comercial aplicada al suelo, esto implica que conforme se aumenta la MOS, este puede contener mayor contenido de agua sin ser sometido a fenómenos de degradación como la compactación, que es el detonante de procesos que llevan la pérdida de agua de una región, incluso la desertificación.

La disminución de la densidad aparente del suelo (Dan) conforme aumentó la dosis de MO comercial aplicada mostró una correlación negativa entre las dos variables, pese a que los efectos de las dosis más altas (50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup>), es el mismo.

La porosidad total del suelo aumentó con el incremento de la dosis aplicada de MO comercial al suelo, así se evidencia una correlación positiva entre estas propiedades, aunque para las dosis altas (50 y 100 Mg.ha<sup>-1</sup>) los efectos fueron similares estadísticamente.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


La microporosidad del suelo se incrementa con el aumento de la dosis de MO comercial aplicada, así mismo el contenido de MOS, sin embargo para la dosis de 100 Mg.ha<sup>-1</sup> disminuyó, quizá porque partículas finas de la MO comercial obturaron los microporos.

La adición de MO comercial a razón de 50 Mg.ha<sup>-1</sup> generó en el suelo agregados predominantes de tamaño entre 2 y 0,5 mm, y que se consideran los más estables del suelo por mantenerse en mayor porcentaje durante el procedimiento de la determinación de los agregados estables al agua.

La aplicación de MO comercial en dosis de 50 Mg.ha<sup>-1</sup> generó menor producción de microagregados, lo que indica que los microagregados se unieron para formar agregados de mayor tamaño, lo que en otras palabras significa que se produjeron agregados que no son susceptibles de ser arrastrados por agua en la superficie, mientras al aplicar 100 Mg.ha<sup>-1</sup>, el material fino de la aplicación obturó los microporos del suelo, que puede incrementar los procesos erosivos del suelo.

La aplicación de MO comercial en el suelo, genera en la conductividad hidráulica una proporcionalidad inversa con las dosis bajas, mientras con dosis altas la proporcionalidad es directa; comportamiento similar al caso de la variación de fragmentos gruesos en la matriz del suelo. La velocidad de infiltración muestra el mismo comportamiento de la Ks, lo que




	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

significa que el movimiento del agua a través de la superficie del suelo está definido por la permeabilidad de las capas profundas.

La aplicación al suelo de 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial, aumentó la capacidad del suelo para retener agua, lo que se traduce en mayor disponibilidad de agua para las planta, y de esta manera incrementar el rendimiento de los cultivos. La dosis alta (100 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial)

Los suelos analizados presentan condiciones ideales de retención y de suministro de agua a las plantas a través del agua aprovechable (AA), esto significa que suministran agua a las plantas de manera adecuada, pese a que las plantas solo reciban aportes de agua bajos a través de lluvias.

El incremento de COS es directamente proporcional a las dosis de aplicación de MO comercial, es así que al aplicar 50 Mg.ha<sup>-1</sup> de MO comercial se logró incrementar el COS en 0,84%, y con 100 Mg.ha<sup>-1</sup> el incremento fue de 0,87%. De esta manera el suelo demuestra su capacidad de almacenar CO y contribuir con la atenuación del efecto del calentamiento global.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


En la capa ubicada a una profundidad entre 30 y 60 cm, las propiedades del suelo presentaron comportamientos que abren la posibilidad de realizar trabajos de investigación más detallados en los que sea posible controlar condiciones que en campo no es posible.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

## 10. RECOMENDACIONES

Evaluar el efecto de dosis intermedias a las evaluadas en esta investigación, con el fin de dilucidar el comportamiento de propiedades como la conductividad hidráulica, la microporosidad, la micro-agregación, el módulo de ruptura, la capacidad de campo, el agua aprovechable, el porcentaje de compactación y el carbono orgánico, en las capas inferiores del suelo, donde las labores de incorporación de la MO comercial aplicada al suelo no son eficientes.

A partir de la actual investigación se recomienda realizar investigaciones sobre el fraccionamiento de la materia orgánica del suelo para las condiciones del estudio.


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

## 11. REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA)


- Adeyemo, A., Akingbola, O., & Ojeniyi, S. (2019). Effects of poultry manure on soil infiltration, organic matter contents and maize performance on two contrasting degraded alfisols in southwestern Nigeria. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*(8), 73–80.
- Américo, J., García, H., & Guerra, O. (2013). Valoración física comparativa del muestreador Uhland y el Proctor en un suelo franco arenoso de sabana del estado Monagas, Venezuela. *Acta Universitaria - Universidad de Guanajuato*, 23, 3-13.
- Attila, N., Walter, R., & Yakov, P. (2005). Influence of Organic Matter on the Estimation of Saturated Hydraulic Conductivity. *Soil Hydrology*, 69(4), 1330-1337.
- Bowman, R. A., Reeder, J. D., & Lober, R. W. (1990). Changes in soil properties in a central plains rangeland soil after 3, 20, and 60 years of cultivation. *Soil Sci.*, 150, 851-857.
- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS*, 35, 82-96.
- Buyanovski, G. (1998). Changing role of cultivated land in the global carbon cycle. *Biology and Fertility of Soils*, 27, 242-245.
- Buyanovski, G. A., & Wagner, G. H. (1998). Changing role of cultivated land in the global carbon cycle. *Biology and Fertility of Soils*, 27, 242-245.
- Camargo, U. A., Maia, J. D., Quecini, V., & Ritschel, P. (2014). Brazilian grape breeding program. *Acta Horticultrae*, 1046, 219-224.
- Camargo, U. A., Tonietto, J., & Hoffmann, A. (2011). Progressos na viticultura brasileira. *Rev. Bras. Frutic.*, 33, 144-149.
- Carter, R. (2002). Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*, 94, 38-48.
- Chenu, C., Arrouays, D., & Le Bissonnais, Y. (2000). Organic Matter Influence on Clay Wettability and Soil Aggregate Stability. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1479-1486.
- Cherubina, M. R., Karlen, D. K., Franco, A., & Tormena, C. (2016). Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. *Geoderma*, 267, 156-168.
- Das, S., & Mukherjee, I. (2014). Influence of microbial community on degradation of flubendiamide in two Indian soils. *Environmental Monitoring & Assessment*, 186, 3213-3219.
- Das, S., Mukherjee, I., & Kumal, A. (2015). Effect of soil type and organic manure on adsorption–desorption of flubendiamide. *Environmental monitoring and assessment*, 187(7), 403.
- Dexter, A. R. (2004). Theory, effect of soil texture, density and organic matter, and effect on root growth. *Geoderma*, 120, 201-214.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>


- Dexter, A., & Bird, N. (2001). Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil & Tillage Research*(57), 203–212.
- Dimas, S., & Gnacadja, L. (2009). Prefacio. *Cambio climático: ¿el suelo puede cambiar las cosas? Informe de la conferencia* (págs. 7-8). Bruselas: Comisión Europea.
- Docampo, R. (2010). *La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola*. Las Brujas: INIA -Estación Experimental “Wilson Ferreira Aldu-nate: Serie Actividades de Difusión N° 687.
- FAO. (2002). *Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra*. Roma: FAO.
- FAO. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.
- Fernández Pérez, P., Cely, G., & Serrano, P. (2019). Cuantificación de la captura de carbono y análisis de las propiedades del suelo en coberturas naturales y una plantación de pino en el páramo de Rabanal, Colombia. : *Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 121-133.
- Gabathuler, E., Liniger, H., Hauert, C., & Giger, M. (2009). *Beneficios de la gestión sostenible de la tierra*. Berne: Wachs, Ted & Thobault, Marlene, eds.
- GIAS. (2013). *Política Nacional para la gestión integral ambiental del suelo*. Bogotá, D.C. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Graetz, H. A. (1997). *Suelos y fertilización*. Mexico: Trillas.
- Gros, A., & Domínguez, A. (1992). *Abonos Guia práctica de la fertilización*. Madrid: Mundi Prensa.
- Haynes, R., & Naidu, R. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51, 123–137.
- Heras-Roger, J., Diaz-Romero, C., Darias-Martín, J., & Rios-Mesa, D. (2018). Characterization of Red Wines from Macaronesia. En A. M. Jordao, *Cosme Processing, Analysis and Valorization*. Cosme Processing, Analysis and Valorization.
- Heriberto, A., Teixeira, D., Tonietto, J., Pereira, G., Braz, F., & Hernandez, T. (2014). Characterization of the wine grape termohydrological conditions in the tropical Brazilian growing region. *Long-Term and Future Assessments*.
- Hernandez, M., & Gutierrez, M. (2013). Factores de riesgo asociados a la intimidación escolar en instituciones educativas públicas de cuatro municipios del departamento del Valle del Cauca. Año 2009. *Revista Colombiana de PSQUIATRIA*(42), 238-247.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2016). *Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá, Colombia.: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). *Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Ipaz Cuastumal, S. N. (2010). Efecto de la fracción gruesa sobre la conductividad hidráulica del suelo. *Física de Suelos y el Manejo de la Tierra y el Agua en Zonas de Ladera*, 15-19.
- Jarvis, C., Darbyshire, R., Eckard, R., Goodwin, I., & Barlow, E. (2017). Influence of the Niño southern oscillation and the Indian Oceanic dipole on winegrape maturity in Australi. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 502-510.
- Joseph, G. B., Maysoon, M. M., & Merle, F. V. (2008). Organic Carbon Effects on Soil Physical and Hydraulic Properties in a Semiarid Climate. *SSSAJ*, 72(5), 1357-1362.
- Journal of Plant Nutrition and Soil Science. (2017). Microaggregates in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 1-33.
- Keller, T., & Håkansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*, 154, 398–406.
- Khairul, A., Monirul, I., Nazmus, S., & Hasanuzzaman, M. (2014). Effect of Tillage Practices on Soil Properties and Crop Productivity in Wheat-Mungbean-Rice Cropping System . *The Scientific World Journal*, 19.
- Lal, R. (1994). *Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics*. SCS technical monograph (Vol. 21). (S. M. Services, Ed.) Washington, DC.
- Lal, R. (1997). *Degradation and resilience of soils*. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences* (Vol. 352 (1356)). Ohio.
- Lal, R. (2012). *Zero Net Land Degradation: A New Sustainable De-velopment Goal for Rio+20*. United Nations.
- Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. *Nature*(528), 60-68.
- Liyue, G., Guanglei, W., Yong, L., Caihong, L., & Wenjing, L. (2016). Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat–maize rotation system in Eastern China. *Soil and Tillage Research*, 156, 140-147.
- Lopez Thomaz, E. (2012). Runoff and sediment transport in a degraded area. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*(36), 243-252.
- Lopez, L., Zerbino, J., & Alvarez, M. (2013). *EVALUACIÓN DE DOS MEZCLAS FORRAJERAS DE SEGUNDO AÑO EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y CARNE EN EL PERÍODO INVIERNO-PRIMAVERAL*. Montevideo: Universidad de Uruguay.
- Lorenzini, M., Reinehr, J., Furini, G., Merlini, L., Dalagnol, G., Camargo, U. A., & Ritschel, P. (2014). *Fenología de acessos mantidos pelo banco ativo de germoplasma de uva*.
- Michel, R. (2002). *CAPTURA DE CARBONO EN LOS SUELOS PARA UN MEJOR MANEJO DE LA TIERRA*. Roma: FAO.


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

- Miko, U. (1995). The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(6), 753-760.
- Mosaddeghi, M., Morshedizad, M., Mahboubi, A., Dexter, A., & Schulin, R. (2009). Laboratory evaluation of a model for soil crumbling for prediction of the optimum soil water content for tillage. *Soil & Tillage Research*, 105, 242–250.
- Muhammad, F., Guilhem, B., & Fabienne, T. (2012). Soil compaction impact and modelling. A review. *Agronomy for Sustainable Development*(33), 291–309.
- Munkholm, L., Schjønning, P., & Kay, B. (2002). Tensile strength of soil cores in relations to aggregate strength, soil fragmentation and pore characteristics. *Soil & Tillage Research*(64), 125–135.
- Navarro, A., Figueroa, B., Matinez, M., Gonzelez, F., & Osuna, E. (2008). Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Agricultura técnica en México*, 34(2), 151-158.
- Oades, J. M., & Waters, A. G. (1991). Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 29, 815–828.
- Paz, A., Lado, M., & Ben-Hur, M. (2004). Organic Matter and Aggregate-Size Interactions in Saturated Hydraulic Conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68, 234-242.
- Peña Artunduaga, M. E. (2015). *Efecto de la materia orgánica in situ sobre la estabilidad estructural de suelos sembrados con caña de azúcar en el Valle del Cauca*. Palmira.
- Pereira, G. E., Masutti, M. M., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. (2015). Influence of the soil on sensorial characteristics of Petit Verdot tropical wines from the Northeast of Brazil. En EMBRAPA, *CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE VITICULTURA E ENOLOGIA*. EMBRAPA.
- Pla Sentis, I. (1983). Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Publ. Rev. Fac. Agron. Alcance*, 32, 1-90.
- Política para la gestión sostenible del suelo. (2016). *Política para la gestión sostenible del suelo*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Protocolo de Kyoto. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Obtenido de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Ritschel, P., Maia, J., Camargo, U., Souza, R., & Fajardo, T. (2014). *Novel Brazilian grape cultivars*.
- Ruiz, M., Bienes, R., Arévalo, D., & Marquez, M. (2011). Velocidad de infiltración del suelo en viñedos de secano tras cuatro años de manejo con cubiertas vegetales. En R. Ortiz Silla, & A. Sanchez Navarro, *Control de la degradación y uso sostenible del suelo* (págs. 285-288). Editors: R. Ortiz Silla, A. Sánchez Navarro.
- Schulte, E. E., & Hopkins, B. G. (1996). Estimation of organic matter by weight loss-on-ignition. *FR Magdoff et al.(ed) Soli organic matter: Analysis and interpretation*, 46, 21-31.

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

- Silva, J., Peñarete, W., Urrutia, N., Daza, M., & Torrez, P. (2013). Effect of biosolids application on soil physical properties of a sugarcane crop. *Acta Agronómica*, 62(3), 251-260.
- Soil Survey Staff. (2014). *Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual*. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.).
- Stockmann, U., Adams, M., Crawford, J., & Field, D. (2013). The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*(164), 80-99.
- Tonietto, J., Conceicao, M., & Evangelista, S. (2016). *Estimating the impact of climate change or temperatura, subtropical and tropical grape growing regions in brazil*. Bordeaux.

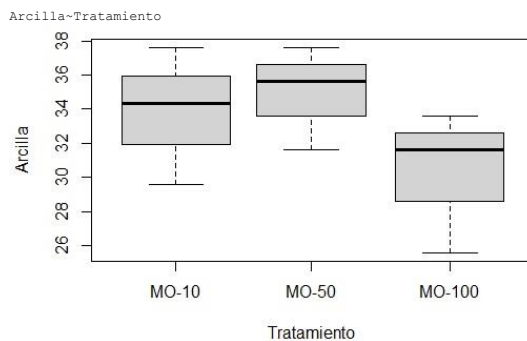


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b>
			<b>Versión:01</b>
<b>Proceso:</b> Investigación	<b>Fecha de emisión:</b> 22-Nov-2009	<b>Fecha de versión:</b> 22-Nov-2009	

## 12. ANEXOS

### 12.1. ANEXO X1. INFORME DE ANÁLISIS DE VARIANZA DE RStudio

#### 12.1.1 Resultados para Profundidad de 0-30 cm.



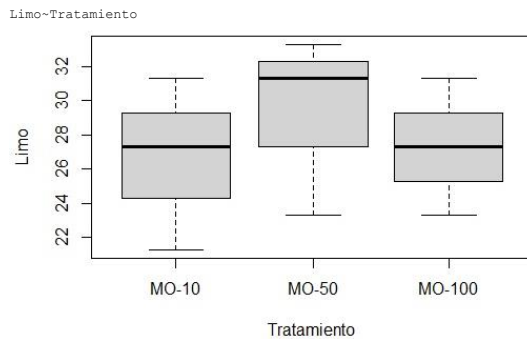
```
> boxplot(Arcilla-Tratamiento)
> aov(Arcilla-Tratamiento)
Call:
aov(formula = Arcilla ~ Tratamiento)
```

```
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  35.74187  85.67893
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 3.778865
Estimated effects may be unbalanced
> anova=aov(Arcilla-Tratamiento)
> summary(anova)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  35.74   17.87   1.251  0.351
Residuals    6  85.68   14.28
> TukeyHSD(anova)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Arcilla ~ Tratamiento)
```

```
$Tratamiento
          diff          lwr          upr          p adj
MO-100-MO-10 -3.573333 -13.040281  5.893614  0.5172431
MO-50-MO-10  1.093333  -8.373614  10.560281  0.9338697
MO-50-MO-100 4.666667  -4.800281  14.133614  0.3503123
```



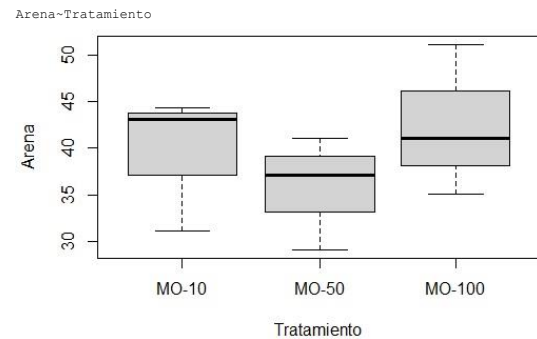
```
> boxplot(Limo-Tratamiento)
> aov(Limo-Tratamiento)
Call:
aov(formula = Limo ~ Tratamiento)
```

```
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  11.55556 138.66667
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 4.807402
Estimated effects may be unbalanced
> anovaLimo=aov(Limo-Tratamiento)
> summary(anovaLimo)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  11.56   5.778   0.25  0.787
Residuals    6 138.67  23.111
> TukeyHSD(anovaLimo)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Limo ~ Tratamiento)
```

```
$Tratamiento
          diff          lwr          upr          p adj
MO-100-MO-10 0.6666667 -11.377007  12.71034  0.9842647
MO-50-MO-10  2.6666667  -9.377007  14.71034  0.7835166
MO-50-MO-100 2.0000000 -10.043674  14.04367  0.8695940
```



```
> boxplot(Arena-Tratamiento)
> aov(Arena-Tratamiento)
Call:
aov(formula = Arena ~ Tratamiento)
```

```
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  67.03076 312.66560
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 7.21879
Estimated effects may be unbalanced
> anovaArena=aov(Arena-Tratamiento)
> summary(anovaArena)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  67.03   33.52   0.643  0.558
Residuals    6 312.67   52.11
> TukeyHSD(anovaArena)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Arena ~ Tratamiento)
```

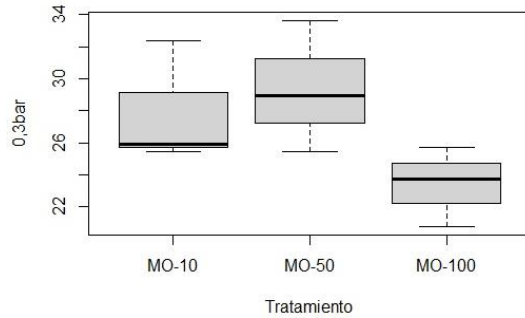
```
$Tratamiento
          diff          lwr          upr          p adj
MO-100-MO-10 2.906667 -15.17810  20.99144  0.8771421
MO-50-MO-10 -3.760000 -21.84477  14.32477  0.8056167
MO-50-MO-100 -6.666667 -24.75144  11.41810  0.5316099
```

Tukey multiple comparisons of means  
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `lbar` ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-10-MO-10 -4.399396 -13.116783  4.317992 0.3358423
MO-50-MO-10  1.397567  -7.319820 10.114954 0.8777084
MO-50-MO-100 5.796963  -2.920425 14.514350 0.1833552
`3bar` ~ Tratamiento
```

`0,3bar`~Tratamiento



```
> boxplot(`0,3bar`~Tratamiento)
> aov(`0,3bar`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `0,3bar` ~ Tratamiento)
```

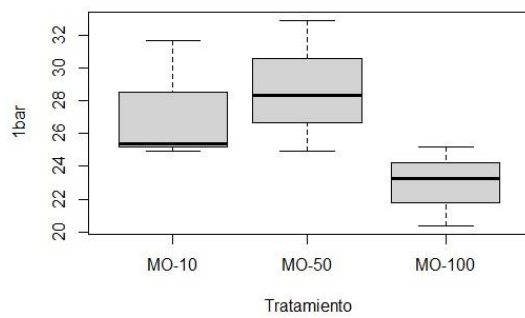
```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  57.23285  75.71811
Deg. of Freedom      2          6
```

```
Residual standard error: 3.55242
Estimated effects may be unbalanced
> anova03bar=aov(`0,3bar`~Tratamiento)
> summary(anova03bar)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  57.23   28.62    2.268  0.185
Residuals    6  75.72   12.62
> TukeyHSD(anova03bar)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level
```

Fit: aov(formula = `0,3bar` ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -4.491377 -13.391025  4.408271 0.3358423
MO-50-MO-10  1.426787  -7.472861 10.326435 0.8777084
MO-50-MO-100 5.918164  -2.981484 14.817811 0.1833552
```

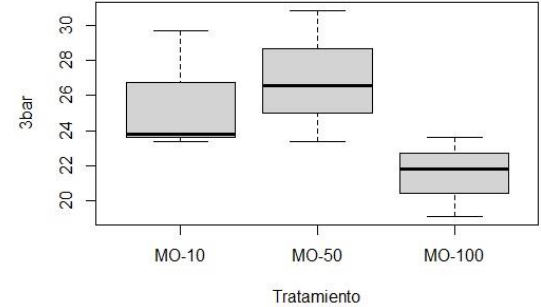
`lbar`~Tratamiento



```
> boxplot(`lbar`~Tratamiento)
> aov(`lbar`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `lbar` ~ Tratamiento)
```

```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  54.91265  72.64852
Deg. of Freedom      2          6
```

```
Residual standard error: 3.479668
Estimated effects may be unbalanced
> anovalbar=aov(`lbar`~Tratamiento)
> summary(anovalbar)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  54.91   27.46    2.268  0.185
Residuals    6  72.65   12.11
> TukeyHSD(anovalbar)
```



```
> boxplot(`3bar`~Tratamiento)
> aov(`3bar`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `3bar` ~ Tratamiento)
```

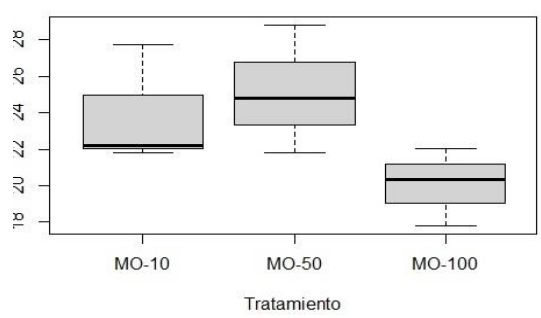
```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  48.24010  63.82085
Deg. of Freedom      2          6
```

```
Residual standard error: 3.261412
Estimated effects may be unbalanced
> anova3bar=aov(`3bar`~Tratamiento)
> summary(anova3bar)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  48.24   24.12    2.268  0.185
Residuals    6  63.82   10.64
> TukeyHSD(anova3bar)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level
```

Fit: aov(formula = `3bar` ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -4.123452 -12.294058  4.047154 0.3358423
MO-50-MO-10  1.309907  -6.860698  9.480513 0.8777084
MO-50-MO-100 5.433359  -2.737247 13.603965 0.1833552
```

`5bar` ~ Tratamiento



```
> boxplot(`5bar` ~ Tratamiento)
> aov(`5bar` ~ Tratamiento)
Call:
aov(formula = `5bar` ~ Tratamiento)
```

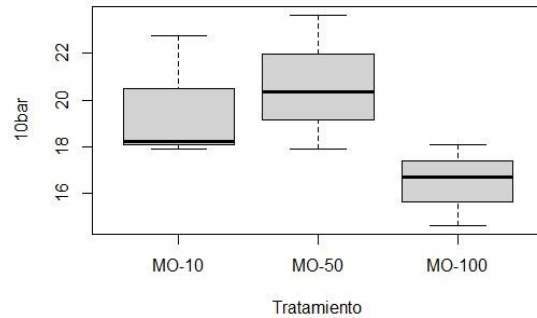
```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  41.99963  55.56481
Deg. of Freedom      2          6
```

```
Residual standard error: 3.043157
Estimated effects may be unbalanced
> anova5bar=aov(`5bar` ~ Tratamiento)
> summary(anova5bar)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  42.00   21.00    2.268  0.185
Residuals    6  55.56    9.261
> TukeyHSD(anova5bar)
```

```
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `5bar` ~ Tratamiento)
```

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -3.847508 -11.471332  3.776316  0.3358423
MO-50-MO-10  1.222248  -6.401577  8.846072  0.8777084
MO-50-MO-100  5.069756  -2.554068  12.693580  0.1833552
`10bar` ~ Tratamiento
```



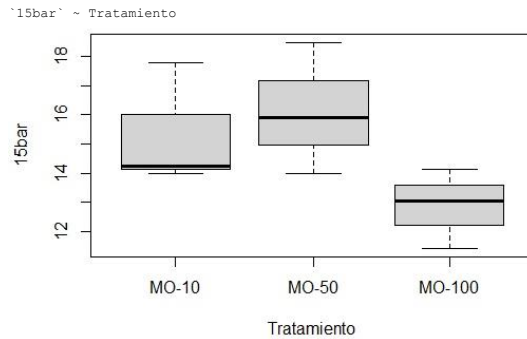
```
> boxplot(`10bar` ~ Tratamiento)
> aov(`5bar` ~ Tratamiento)
Call:
aov(formula = `5bar` ~ Tratamiento)

Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  41.99963  55.56481
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 2.497518
Estimated effects may be unbalanced
> anova10bar=aov(`10bar` ~ Tratamiento)
> summary(anova10bar)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  28.29  14.144   2.268  0.185
Residuals    6  37.43   6.238
> TukeyHSD(anova10bar)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `10bar` ~ Tratamiento)
```

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -3.157649 -9.414519  3.099221  0.3358423
MO-50-MO-10  1.003098 -5.253772  7.259968  0.8777084
MO-50-MO-100  4.160747 -2.096123  10.417617  0.1833552
```



```
> boxplot(`15bar` ~ Tratamiento)
> aov(`15bar` ~ Tratamiento)
Call:
aov(formula = `15bar` ~ Tratamiento)

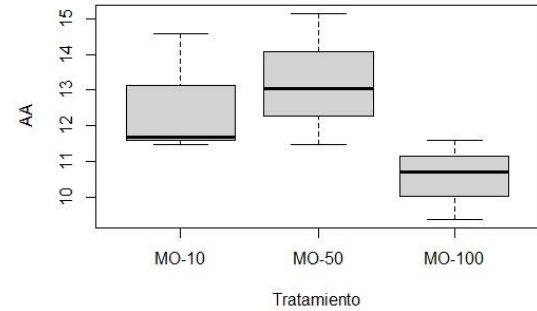
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  17.27836  22.85899
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 1.951879
Estimated effects may be unbalanced
> anova15bar=aov(`15bar` ~ Tratamiento)
> summary(anova15bar)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  17.28   8.639   2.268  0.185
Residuals    6  22.86   3.810
> TukeyHSD(anova15bar)
```

```
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `15bar` ~ Tratamiento)
```

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -2.4677895 -7.357706  2.422127  0.3358423
MO-50-MO-10  0.7839488 -4.105967  5.673865  0.8777084
MO-50-MO-100  3.2517383 -1.638178  8.141655  0.1833552
AA ~ Tratamiento
```



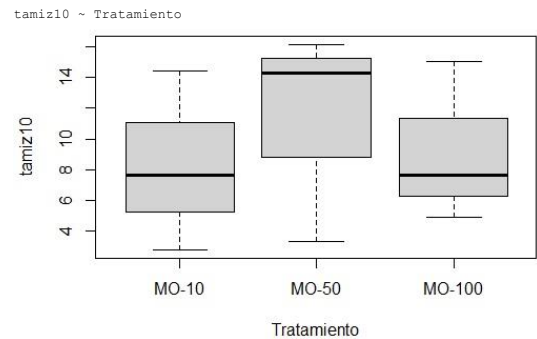
```
> boxplot(AA ~ Tratamiento)
> aov(AA ~ Tratamiento)
Call:
aov(formula = AA ~ Tratamiento)

Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  11.61797  15.37038
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 1.600541
Estimated effects may be unbalanced
> anovaAA=aov(AA ~ Tratamiento)
> summary(anovaAA)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  11.62   5.809   2.268  0.185
Residuals    6  15.37   2.562
> TukeyHSD(anovaAA)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = AA ~ Tratamiento)
```


```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -2.0235874 -6.033119  1.986144  0.3358423
MO-50-MO-10  0.6428381 -3.366893  4.652569  0.8777084
MO-50-MO-100  2.6664254 -1.343306  6.676157  0.1833552
```



```
> boxplot(`tamiz10`~Tratamiento)
> aov(`tamiz10`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = tamiz10 ~ Tratamiento)

Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  13.66649  219.02507
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 6.041869
Estimated effects may be unbalanced
> anovataimiz10=aov(`tamiz10`~Tratamiento)
> summary(anovataimiz10)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  13.67   6.83   0.187  0.834
Residuals    6 219.03  36.50
> TukeyHSD(anovataimiz10)
```

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b>
			<b>Versión:01</b>
<b>Proceso:</b> Investigación	<b>Fecha de emisión:</b> 22-Nov-2009	<b>Fecha de versión:</b> 22-Nov-2009	

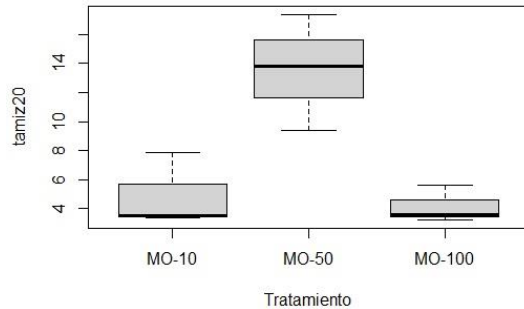
```

Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = tamiz10 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-10-MO-10  0.906667 -14.22964  16.04297  0.9816073
MO-50-MO-10  2.946667 -12.18964  18.08297  0.8266660
MO-50-MO-100 2.0400000 -13.09630  17.17630  0.9113882
`tamiz20`~Tratamiento

```



```

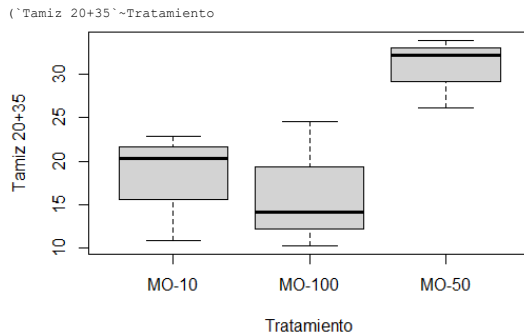
> boxplot(`tamiz20`~Tratamiento)
> aov(`tamiz20`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = tamiz20 ~ Tratamiento)

Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  162.35662  48.77227
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 2.851089
Estimated effects may be unbalanced
> anovataimiz20=aov(`tamiz20`~Tratamiento)
> summary(anovataimiz20)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  162.36   81.18   9.987  0.0123 *
Residuals    6   48.77    8.13
> TukeyHSD(anovataimiz20)
      Tukey multiple comparisons of means
      95% family-wise confidence level
Fit: aov(formula = tamiz20 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.7466667 -7.889317  6.395984  0.9453743
MO-50-MO-10  8.6133333  1.470683  15.755984  0.0235173
MO-50-MO-100  9.3600000  2.217349  16.502651  0.0163551

```



```

> boxplot(`Tamiz 20+35`~Tratamiento)
> aov(`Tamiz 20+35`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `Tamiz 20+35` ~ Tratamiento)

Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  372.8398  224.4000
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 6.115554
Estimated effects may be unbalanced
> anovaT2035=aov(`Tamiz 20+35`~Tratamiento)
> summary(anovaT2035)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  372.8   186.4   4.984  0.053 .
Residuals    6  224.4    37.4
---
> TukeyHSD(anovaT2035)

```

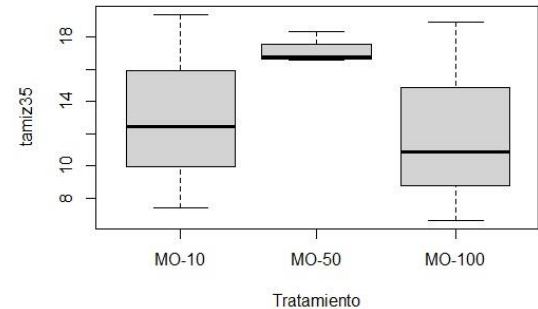
```

Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `Tamiz 20+35` ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -1.706667 -17.0275700  13.61424  0.9382824
MO-50-MO-10  12.720000 -2.6009033  28.04090  0.0961006
MO-50-MO-100 14.426667 -0.8942367  29.74757  0.0624354
tamiz35 ~ Tratamiento

```



```

> boxplot(`tamiz35`~Tratamiento)
> aov(`tamiz35`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = tamiz35 ~ Tratamiento)

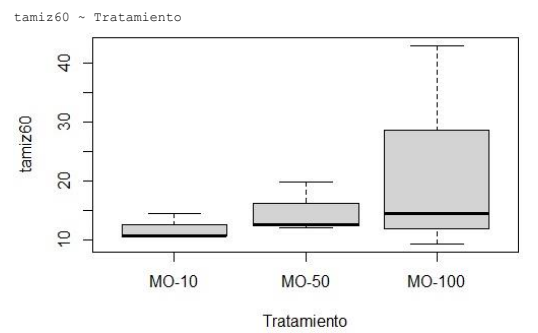
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  43.45742  151.77280
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 5.02946
Estimated effects may be unbalanced
> anovataimiz35=aov(`tamiz35`~Tratamiento)
> summary(anovataimiz35)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  43.46   21.73   0.859  0.47
Residuals    6  151.77   25.30
> TukeyHSD(anovataimiz35)
      Tukey multiple comparisons of means
      95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = tamiz35 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.9600000 -13.559982  11.63998  0.9704695
MO-50-MO-10  4.106667 -8.493315  16.70665  0.6034644
MO-50-MO-100  5.066667 -7.533315  17.66665  0.4781328

```



```

> boxplot(`tamiz60`~Tratamiento)
> aov(`tamiz60`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = tamiz60 ~ Tratamiento)

Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  169.7881  704.2101
Deg. of Freedom      2          6

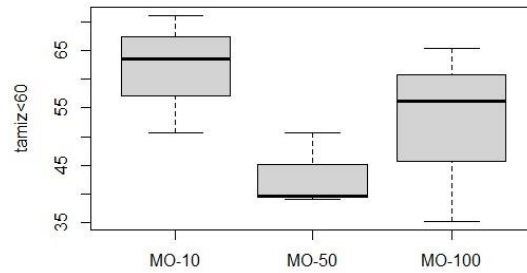
Residual standard error: 10.83367
Estimated effects may be unbalanced
> anovataimiz60=aov(`tamiz60`~Tratamiento)
> summary(anovataimiz60)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  169.8   84.89   0.723  0.523
Residuals    6  704.2   117.37
---
> TukeyHSD(anovataimiz60)
      Tukey multiple comparisons of means
      95% family-wise confidence level

```

```
Fit: aov(formula = tamiz60 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr      p adj
MO-10-MO-10 10.333333 -16.80756 37.47422 0.5119556
MO-50-MO-10  2.973333 -24.16756 30.11422 0.9402251
MO-50-MO-100 -7.360000 -34.50089 19.78089 0.6985784
```

`tamiz<60` ~ Tratamiento



```
> boxplot(`tamiz<60`~Tratamiento)
> aov(`tamiz<60`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `tamiz<60` ~ Tratamiento)
```

```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  521.2654  771.4517
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 11.3391
Estimated effects may be unbalanced
> anovatamen60=aov(`tamiz<60`~Tratamiento)
> summary(anovatamen60)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  521.3  260.6  2.027  0.213
Residuals    6  771.5  128.6
> TukeyHSD(anovatamen60)
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level
```

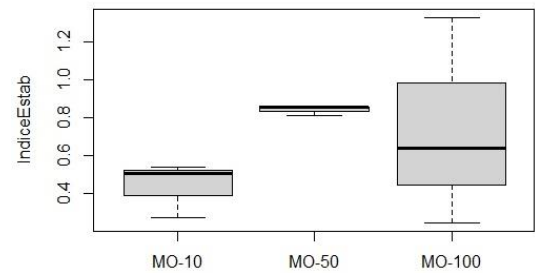
```
Fit: aov(formula = `tamiz<60` ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr      p adj
MO-100-MO-10 -9.533333 -37.94046 18.873795 0.5869156
MO-50-MO-10 -18.640000 -47.04713  9.767128 0.1897348
MO-50-MO-100 -9.106667 -37.51379 19.300461 0.6126726
```

Tukey multiple comparisons of means  
95% family-wise confidence level

```
Fit: aov(formula = DMP30 ~ Tratamiento)
```

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr      p adj
MO-100-MO-10 0.03691333 -0.4229667 0.4967934 0.9672965
MO-50-MO-10  0.22671000 -0.2331701 0.6865901 0.3502706
MO-50-MO-100 0.18979667 -0.2700834 0.6496767 0.4618617
IndiceEstab ~ Tratamiento
```



```
> boxplot(IndiceEstab~Tratamiento)
> aov(IndiceEstab~Tratamiento)
Call:
aov(formula = IndiceEstab ~ Tratamiento)
```

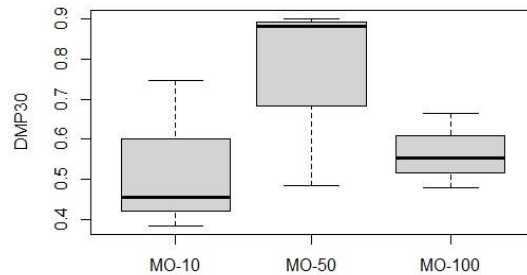
```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  0.2618904 0.6476759
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.3285513
Estimated effects may be unbalanced
> anovaIndiceEstab=aov(IndiceEstab~Tratamiento)
> summary(anovaIndiceEstab)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.2619  0.131  1.213  0.361
Residuals    6  0.6477  0.108
> TukeyHSD(anovaIndiceEstab)
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level
```

```
Fit: aov(formula = IndiceEstab ~ Tratamiento)
```

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr      p adj
MO-100-MO-10 0.3001399 -0.5229586 1.1232385 0.5381664
MO-50-MO-10  0.4018283 -0.4212703 1.2249268 0.3563138
MO-50-MO-100 0.1016883 -0.7214102 0.9247868 0.9248144
```

DMP30~Tratamiento

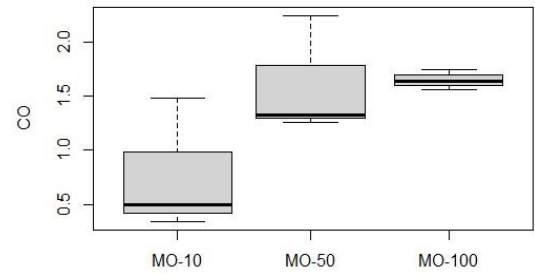


```
> boxplot(DMP30~Tratamiento)
> aov(DMP30~Tratamiento)
Call:
aov(formula = DMP30 ~ Tratamiento)
```

```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  0.08878279 0.20218236
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.1835676
Estimated effects may be unbalanced
> anovaDMP30=aov(DMP30~Tratamiento)
> summary(anovaDMP30)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.08878 0.04439  1.317  0.336
Residuals    6  0.20218 0.03370
> TukeyHSD(anovaDMP30)
```


CO ~ Tratamiento



```
> boxplot(CO~Tratamiento)
> aov(CO~Tratamiento)
Call:
aov(formula = CO ~ Tratamiento)
```

```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  1.465910 1.382464
Deg. of Freedom      2          6

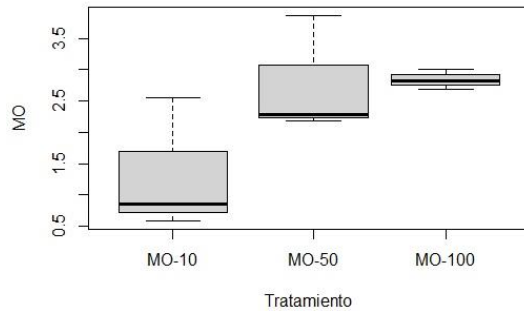
Residual standard error: 0.480011
Estimated effects may be unbalanced
> anovaCO=aov(CO~Tratamiento)
> summary(anovaCO)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  1.466  0.7330  3.181  0.114
Residuals    6  1.383  0.2304
> TukeyHSD(anovaCO)
```

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b>
			<b>Versión:01</b>
<b>Proceso:</b> Investigación	<b>Fecha de emisión:</b> 22-Nov-2009	<b>Fecha de versión:</b> 22-Nov-2009	

Tukey multiple comparisons of means  
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = CO ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10  0.8734177 -0.3291230 2.075958 0.1443426
MO-50-MO-10   0.8377215 -0.3648192 2.040262 0.1621023
MO-50-MO-100 -0.0356962 -1.2382369 1.166844 0.9954406
MO ~ Tratamiento
```



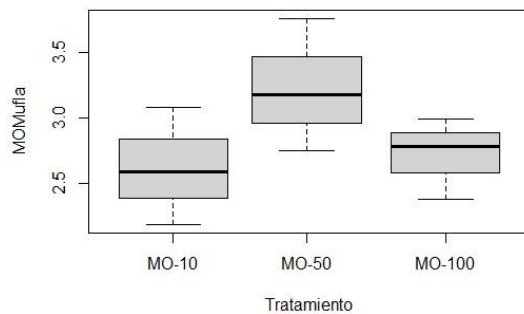
```
> boxplot(CO~Tratamiento)
> aov(CO~Tratamiento)
Call:
aov(formula = CO ~ Tratamiento)
```

```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  4.364109 4.099603
Deg. of Freedom      2         6
```

```
Residual standard error: 0.8265998
Estimated effects may be unbalanced
> anovaCO=aov(CO~Tratamiento)
> summary(anovaCO)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  4.364  2.1821  3.194  0.114
Residuals    6  4.100  0.6833
> TukeyHSD(anovaCO)
      Tukey multiple comparisons of means
      95% family-wise confidence level
```

```
Fit: aov(formula = CO ~ Tratamiento)
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10  1.50577215 -0.5650551 3.576599 0.1438771
MO-50-MO-10   1.44681857 -0.6240087 3.517646 0.1608161
MO-50-MO-100 -0.05895359 -2.1297808 2.011874 0.9958053
```

MOMufla ~ Tratamiento



```
> boxplot(MOMufla~Tratamiento)
> aov(MOMufla~Tratamiento)
Call:
aov(formula = MOMufla ~ Tratamiento)
```

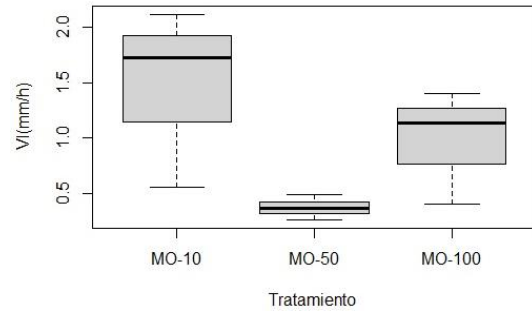
```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  0.647611 1.116190
Deg. of Freedom      2         6
```

```
Residual standard error: 0.4313138
Estimated effects may be unbalanced
> anovaMOMufla=aov(MOMufla~Tratamiento)
> summary(anovaMOMufla)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.6476  0.3238  1.741  0.253
Residuals    6  1.1162  0.1860
> TukeyHSD(anovaMOMufla)
```

Tukey multiple comparisons of means  
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = MOMufla ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10  0.09567682 -0.9848659 1.176220 0.9603936
MO-50-MO-10   0.61081261 -0.4697301 1.691355 0.2685632
MO-50-MO-100  0.51513579 -0.5654069 1.595679 0.3710932
`VI (mm/h)` ~ Tratamiento
```



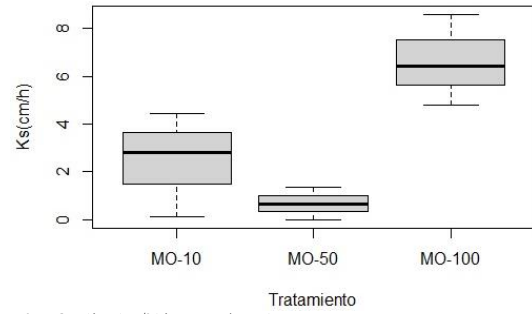
```
> boxplot(`VI (mm/h)`~Tratamiento)
> aov(`VI (mm/h)`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `VI (mm/h)` ~ Tratamiento)
```

```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  1.811291 1.889655
Deg. of Freedom      2         6
```

```
Residual standard error: 0.5611974
Estimated effects may be unbalanced
> anovaVI=aov(`VI (mm/h)`~Tratamiento)
> summary(anovaVI)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  1.811  0.9056  2.876  0.133
Residuals    6  1.890  0.3149
> TukeyHSD(anovaVI)
      Tukey multiple comparisons of means
      95% family-wise confidence level
```

```
Fit: aov(formula = `VI (mm/h)` ~ Tratamiento)
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.4880342 -1.893966 0.9178974 0.5673779
MO-50-MO-10  -1.0966674 -2.502599 0.3092643 0.1169532
MO-50-MO-100 -0.6086332 -2.014565 0.7972985 0.4317879
```

Ks (cm/h) ~ Tratamiento



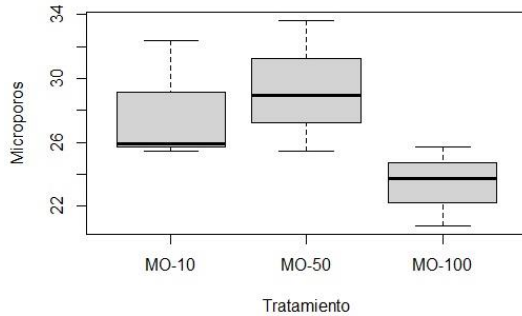
```
> boxplot(Ks(cm/h)`~Tratamiento)
> aov(Ks(cm/h)`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `Ks (cm/h)` ~ Tratamiento)
```

```
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  55.31286 17.56315
Deg. of Freedom      2         6
```

```
Residual standard error: 1.710904
Estimated effects may be unbalanced
> anovaKs=aov(`Ks (cm/h)`~Tratamiento)
> summary(anovaKs)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  55.31  27.656  9.448  0.014 *
Residuals    6  17.56  2.927
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
---
```

```
> TukeyHSD(anovaKs)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `Ks(cm/h)` ~ Tratamiento)
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10  4.125774 -0.1604421  8.411991 0.0576337
MO-50-MO-10  -1.795859 -6.0820754  2.490358 0.4523802
MO-50-MO-100 -5.921633 -10.2078498 -1.635417 0.0128766
Microporos ~ Tratamiento
```



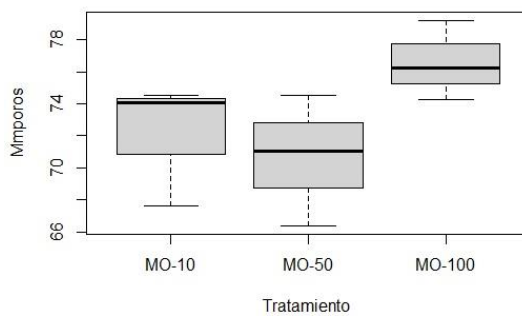
```
> boxplot(Microporos~Tratamiento)
> aov(Microporos~Tratamiento)
Call:
  aov(formula = Microporos ~ Tratamiento)

Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  57.23285  75.71811
Deg. of Freedom      2      6

Residual standard error: 3.55242
Estimated effects may be unbalanced
> anovamicroporos=aov(Microporos~Tratamiento)
> summary(anovamicroporos)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  57.23  28.62  2.268  0.185
Residuals    6  75.72  12.62
> TukeyHSD(anovamicroporos)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Microporos ~ Tratamiento)
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -4.491377 -13.391025  4.408271 0.3358423
MO-50-MO-10  1.426787  -7.472861 10.326435 0.8777084
MO-50-MO-100  5.918164  -2.981484 14.817811 0.1833552
```

Mmporos ~ Tratamiento



```
> boxplot(Mmporos~Tratamiento)
> aov(Mmporos~Tratamiento)
Call:
  aov(formula = Mmporos ~ Tratamiento)

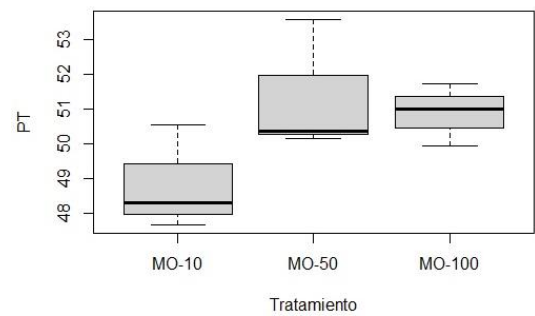
Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  57.23285  75.71811
Deg. of Freedom      2      6

Residual standard error: 3.55242
Estimated effects may be unbalanced
> anovaMmporos=aov(Mmporos~Tratamiento)
> summary(anovaMmporos)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  57.23  28.62  2.268  0.185
Residuals    6  75.72  12.62
> TukeyHSD(anovaMmporos)
```

```
Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Mmporos ~ Tratamiento)
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10  4.491377  -4.408271 13.391025 0.3358423
MO-50-MO-10  -1.426787 -10.326435  7.472861 0.8777084
MO-50-MO-100 -5.918164 -14.817811  2.981484 0.1833552
```

PT ~ Tratamiento



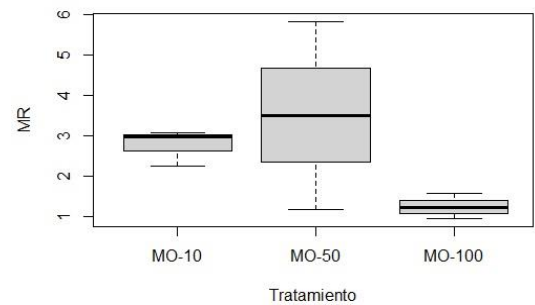
```
> boxplot(PT~Tratamiento)
> aov(PT~Tratamiento)
Call:
  aov(formula = PT ~ Tratamiento)

Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  10.80572  13.29834
Deg. of Freedom      2      6

Residual standard error: 1.488755
Estimated effects may be unbalanced
> anovaPT=aov(PT~Tratamiento)
> summary(anovaPT)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  10.81  5.403  2.438  0.168
Residuals    6  13.30  2.216
> TukeyHSD(anovaPT)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = PT ~ Tratamiento)
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10  2.0442041 -1.685477  5.773885 0.2863835
MO-50-MO-10  2.5283503 -1.201330  6.258031 0.1743779
MO-50-MO-100  0.4841462 -3.245535  4.213827 0.9174360
```


MR ~ Tratamiento



```
> boxplot(MR~Tratamiento)
> aov(MR~Tratamiento)
Call:
  aov(formula = MR ~ Tratamiento)

Terms:
      Tratamiento Residuals
Sum of Squares  7.89777  11.33213
Deg. of Freedom      2      6

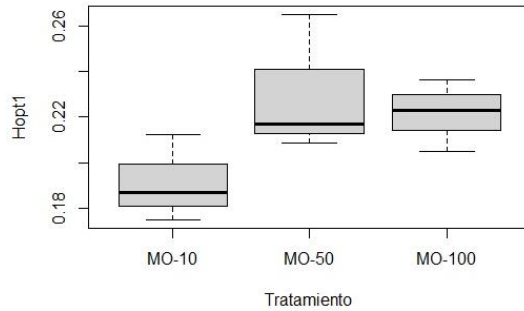
Residual standard error: 1.374296
Estimated effects may be unbalanced
> anovaMR=aov(MR~Tratamiento)
> summary(anovaMR)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  7.898  3.949  2.091  0.205
Residuals    6  11.332  1.889
> TukeyHSD(anovaMR)
```

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b>
			<b>Versión:01</b>
<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	

Tukey multiple comparisons of means  
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = MR ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -1.5241761 -4.967111 1.918758 0.4176721
MO-50-MO-10  0.7233582 -2.719576 4.166293 0.8020734
MO-50-MO-100 2.2475343 -1.195400 5.690469 0.1922340
Hopt1 ~ Tratamiento
```



```
> boxplot(`Hopt1`~Tratamiento)
> aov(`Hopt1`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = Hopt1 ~ Tratamiento)

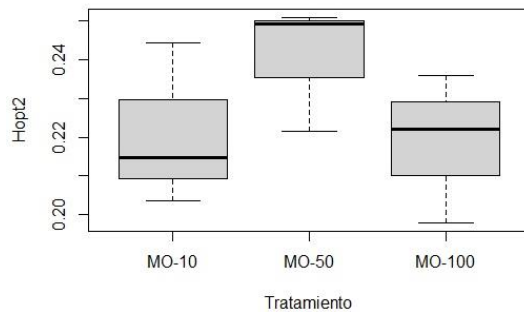
Terms:
      Tratamiento  Residuals
Sum of Squares  0.002505679  0.003091343
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.02269854
Estimated effects may be unbalanced
> anovaHopt1=aov(`Hopt1`~Tratamiento)
> summary(anovaHopt1)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.002506  0.0012528   2.432  0.168
Residuals    6  0.003091  0.0005152
> TukeyHSD(anovaHopt1)
      Tukey multiple comparisons of means
      95% family-wise confidence level
```

Fit: aov(formula = Hopt1 ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 0.030272759 -0.02659244 0.08713796 0.3035568
MO-50-MO-10  0.038916827 -0.01794837 0.09578203 0.1700389
MO-50-MO-100 0.008644068 -0.04822113 0.06550927 0.8891129
```

Hopt2 ~ Tratamiento



```
> boxplot(`Hopt2`~Tratamiento)
> aov(`Hopt2`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = Hopt2 ~ Tratamiento)

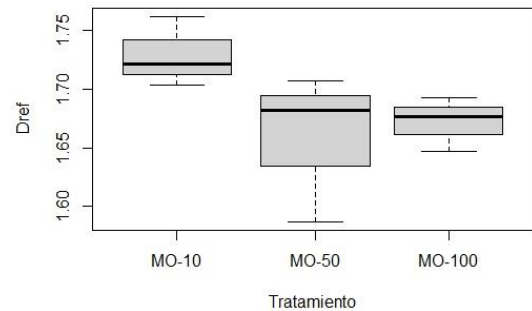
Terms:
      Tratamiento  Residuals
Sum of Squares  0.0008696481  0.0021655801
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.01899816
Estimated effects may be unbalanced
> anovaHopt2=aov(`Hopt2`~Tratamiento)
> summary(anovaHopt2)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.0008696  0.0004348   1.205  0.363
Residuals    6  0.0021656  0.0003609
> TukeyHSD(anovaHopt2)
```

Tukey multiple comparisons of means  
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Hopt2 ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.002159433 -0.04975429 0.04543543 0.9893916
MO-50-MO-10  0.019688690 -0.02790617 0.06728355 0.4603982
MO-50-MO-100 0.021848123 -0.02574674 0.06944298 0.3948152
Dref ~ Tratamiento
```



```
> boxplot(`Dref`~Tratamiento)
> aov(`Dref`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = Dref ~ Tratamiento)

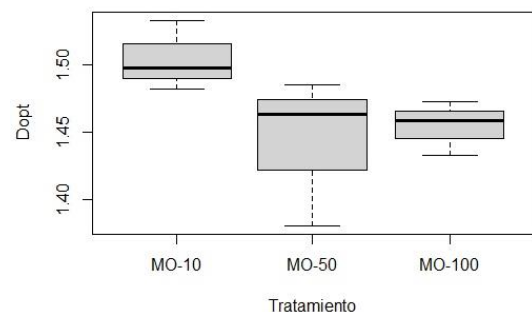
Terms:
      Tratamiento  Residuals
Sum of Squares  0.008369197  0.010905709
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.04263353
Estimated effects may be unbalanced
> anovaDref=aov(`Dref`~Tratamiento)
> summary(anovaDref)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.008369  0.004185  2.302  0.181
Residuals    6  0.010906  0.001818
> TukeyHSD(anovaDref)
      Tukey multiple comparisons of means
      95% family-wise confidence level
```

Fit: aov(formula = Dref ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.05703098 -0.1638380 0.04977606 0.3017687
MO-50-MO-10  -0.07029107 -0.1770981 0.03651598 0.1883136
MO-50-MO-100 -0.01326008 -0.1200671 0.09354696 0.9241126
```

Dopt ~ Tratamiento




```
> boxplot(`Dopt`~Tratamiento)
> aov(`Dopt`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = Dopt ~ Tratamiento)

Terms:
      Tratamiento  Residuals
Sum of Squares  0.006334645  0.008254531
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.03709117
Estimated effects may be unbalanced
> anovaDopt=aov(`Dopt`~Tratamiento)
> summary(anovaDopt)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.006335  0.003167  2.302  0.181
Residuals    6  0.008255  0.001376
> TukeyHSD(anovaDopt)
```

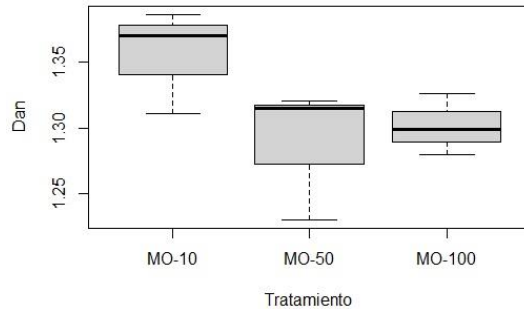


	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b>
			<b>Versión:01</b>
<b>Proceso:</b> Investigación	<b>Fecha de emisión:</b> 22-Nov-2009	<b>Fecha de versión:</b> 22-Nov-2009	

Tukey multiple comparisons of means  
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Dopt ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.04961696 -0.1425391 0.04330517 0.3017687
MO-50-MO-10  -0.06115323 -0.1540754 0.03176890 0.1883136
MO-50-MO-100 -0.01153627 -0.1044584 0.08138586 0.9241126
Dan ~ Tratamiento
```



```
> boxplot(Dan~Tratamiento)
> aov(Dan~Tratamiento)
Call:
aov(formula = Dan ~ Tratamiento)

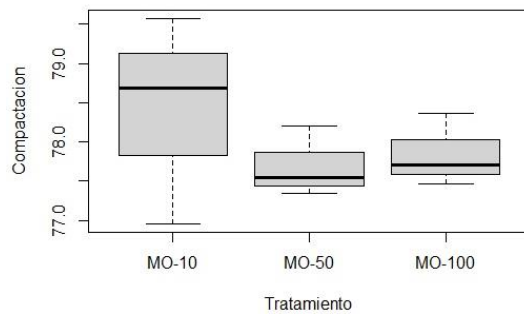
Terms:
      Tratamiento  Residuals
Sum of Squares  0.007588319 0.009338759
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.03945199
Estimated effects may be unbalanced
> anovaDan=aov(Dan~Tratamiento)
> summary(anovaDan)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.007588  0.003794  2.438  0.168
Residuals    6  0.009339  0.001556
> TukeyHSD(anovaDan)
      Tukey multiple comparisons of means
      95% family-wise confidence level
```

Fit: aov(formula = Dan ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.05417141 -0.1530079 0.04466513 0.2863835
MO-50-MO-10  -0.06700128 -0.1658378 0.03183526 0.1743779
MO-50-MO-100 -0.01282987 -0.1116664 0.08600667 0.9174360
```

Compactacion ~ Tratamiento



```
> boxplot(Compactacion~Tratamiento)
> aov(Compactacion~Tratamiento)
Call:
aov(formula = Compactacion ~ Tratamiento)

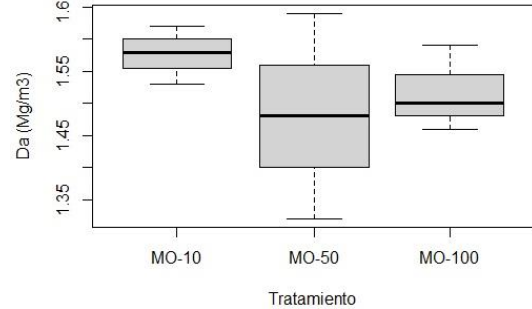
Terms:
      Tratamiento  Residuals
Sum of Squares   0.841074  4.370081
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.8534324
Estimated effects may be unbalanced
> anovaComp=aov(Compactacion~Tratamiento)
> summary(anovaComp)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.841  0.4205  0.577  0.59
Residuals    6  4.370  0.7283
> TukeyHSD(anovaComp)
```

Tukey multiple comparisons of means  
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Compactacion ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.5604605 -2.698510 1.577589 0.7142739
MO-50-MO-10  -0.7102884 -2.848338 1.427761 0.5926902
MO-50-MO-100 -0.1498279 -2.287877 1.988221 0.9749415
`Da (Mg/m3)` ~ Tratamiento
```



```
> boxplot(`Da (Mg/m3)`~Tratamiento)
> aov(`Da (Mg/m3)`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `Da (Mg/m3)` ~ Tratamiento)

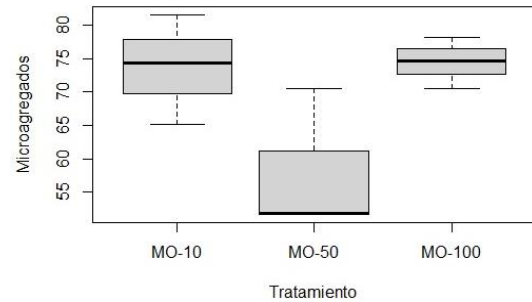
Terms:
      Tratamiento  Residuals
Sum of Squares   0.01428889 0.06413333
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.1033871
Estimated effects may be unbalanced
> anovaDa=aov(`Da (Mg/m3)`~Tratamiento)
> summary(anovaDa)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.01429 0.007144  0.668  0.547
Residuals    6  0.06413 0.010689
> TukeyHSD(anovaDa)
      Tukey multiple comparisons of means
      95% family-wise confidence level
```

Fit: aov(formula = `Da (Mg/m3)` ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.06000000 -0.3190090 0.1990090 0.7664240
MO-50-MO-10  -0.09666667 -0.3556757 0.1623423 0.5241205
MO-50-MO-100 -0.03666667 -0.2956757 0.2223423 0.9028447
```


Microagregados ~ Tratamiento



```
> boxplot(Microagregados~Tratamiento)
> aov(Microagregados~Tratamiento)
Call:
aov(formula = Microagregados ~ Tratamiento)

Terms:
      Tratamiento  Residuals
Sum of Squares   517.2356 399.9200
Deg. of Freedom      2          6


Residual standard error: 8.164149
Estimated effects may be unbalanced
> anovaMicroAg=aov(Microagregados~Tratamiento)
> summary(anovaMicroAg)
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  517.2  258.62  3.88  0.0829 .
Residuals    6  399.9  66.65
---
> TukeyHSD(anovaMicroAg)
```

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

Tukey multiple comparisons of means  
95% family-wise confidence level

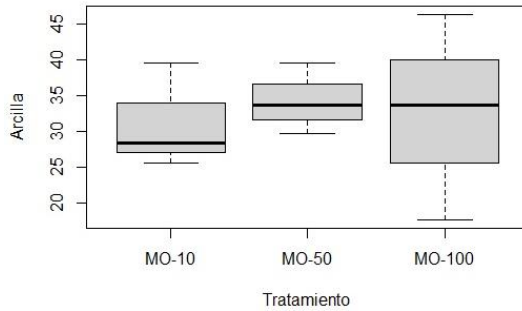
Fit: aov(formula = Microagregados ~ Tratamiento)

```
$Tratamiento
      diff      lwr      upr      p adj
MO-100-MO-10  0.80000 -19.65312 21.253117 0.9921014
MO-50-MO-10  -15.66667 -36.11978  4.786451 0.1235706
MO-50-MO-100 -16.46667 -36.91978  3.986451 0.1060231
```

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b>
			<b>Versión:01</b>
<b>Proceso:</b> Investigación	<b>Fecha de emisión:</b> 22-Nov-2009	<b>Fecha de versión:</b> 22-Nov-2009	

### 12.1.2 Resultados para Profundidad de 30-60 cm.

Arcilla-Tratamiento



```
> boxplot(Arcilla~Tratamiento)
> aov(Arcilla~Tratamiento)
Call:
aov(formula = Arcilla ~ Tratamiento)

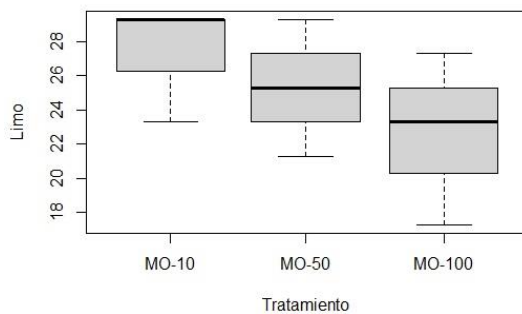
Terms:
    Tratamiento Residuals
Sum of Squares  14.4441 575.0912
Deg. of Freedom      2         6

Residual standard error: 9.790226
Estimated effects may be unbalanced
> anovaArcilla=aov(Arcilla~Tratamiento)
> summary(anovaArcilla)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  14.4      7.22   0.075  0.928
Residuals    6 575.1    95.85
> TukeyHSD(anovaArcilla)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Arcilla ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr      p adj
MO-100-MO-10  1.333333 -23.19349 25.86016 0.9848178
MO-50-MO-10  3.093333 -21.43349 27.62016 0.9218142
MO-50-MO-100 1.760000 -22.76682 26.28682 0.9737462
```

Limo-Tratamiento



```
> boxplot(Limo~Tratamiento)
> aov(Limo~Tratamiento)
Call:
aov(formula = Limo ~ Tratamiento)

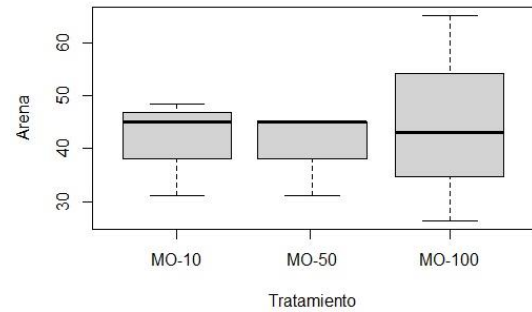
Terms:
    Tratamiento Residuals
Sum of Squares  32.88889 106.66667
Deg. of Freedom      2         6

Residual standard error: 4.21637
Estimated effects may be unbalanced
> anovaLimo=aov(Limo~Tratamiento)
> summary(anovaLimo)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  32.89    16.44   0.925  0.447
Residuals    6 106.67   17.78
> TukeyHSD(anovaLimo)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Limo ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr      p adj
MO-100-MO-10 -4.666667 -15.229667  5.896334 0.4189608
MO-50-MO-10  -2.000000 -12.563001  8.563001 0.8349570
MO-50-MO-100  2.666667  -7.896334 13.229667 0.7309944
```

Arena-Tratamiento



```
> boxplot(Arena~Tratamiento)
> aov(Arena~Tratamiento)
Call:
aov(formula = Arena ~ Tratamiento)

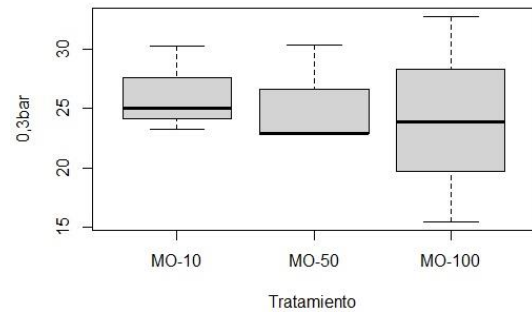
Terms:
    Tratamiento Residuals
Sum of Squares  31.9019 1053.3845
Deg. of Freedom      2         6

Residual standard error: 13.25006
Estimated effects may be unbalanced
> anovaArena=aov(Arena~Tratamiento)
> summary(anovaArena)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  31.9    15.95   0.091  0.914
Residuals    6 1053.4  175.56
> TukeyHSD(anovaArena)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Arena ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr      p adj
MO-100-MO-10  3.333333 -29.86119 36.52786 0.9494485
MO-50-MO-10 -1.093333 -34.28786 32.10119 0.9943904
MO-50-MO-100 -4.426667 -37.62119 28.76786 0.9131350
```

'0,3bar'~Tratamiento



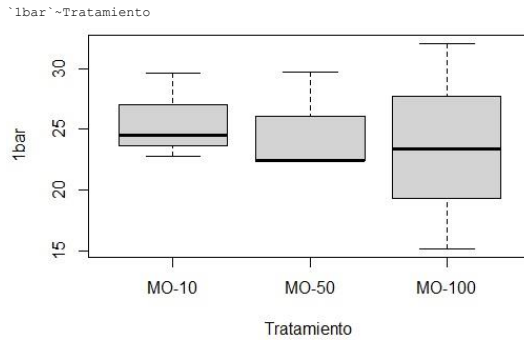
```
> boxplot('0,3bar'~Tratamiento)
> aov('0,3bar'~Tratamiento)
Call:
aov(formula = '0,3bar' ~ Tratamiento)

Terms:
    Tratamiento Residuals
Sum of Squares  6.91631 212.57775
Deg. of Freedom      2         6

Residual standard error: 5.952279
Estimated effects may be unbalanced
> anova03var=aov('0,3bar'~Tratamiento)
> summary(anova03var)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  6.92    3.46   0.098  0.908
Residuals    6 212.58   35.43
> TukeyHSD(anova03var)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = '0,3bar' ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr      p adj
MO-100-MO-10 -2.1262480 -17.03811 12.78561 0.9015314
MO-50-MO-10  -0.8033967 -15.71526 14.10846 0.9850853
MO-50-MO-100  1.3228512 -13.58901 16.23471 0.9602488
```



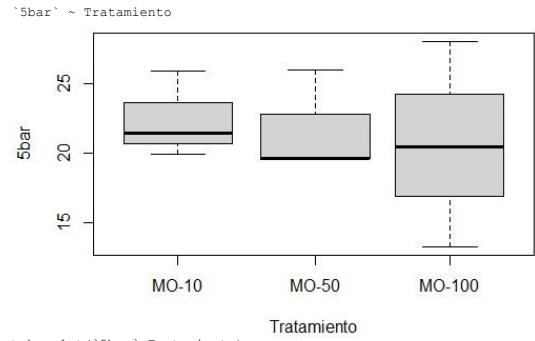
```
> boxplot(`1bar`~Tratamiento)
> aov(`1bar`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `1bar` ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares    6.63593 203.95993
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 5.830379
Estimated effects may be unbalanced
> anova1bar=aov(`1bar`~Tratamiento)
> summary(anova1bar)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2    6.64    3.32   0.098  0.908
Residuals    6 203.96   33.99
> TukeyHSD(anova1bar)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `1bar` ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -2.0827034 -16.68918 12.52377 0.9015314
MO-50-MO-10  -0.7869436 -15.39342 13.81953 0.9850853
MO-50-MO-100  1.2957599 -13.31071 15.90223 0.9602488
```



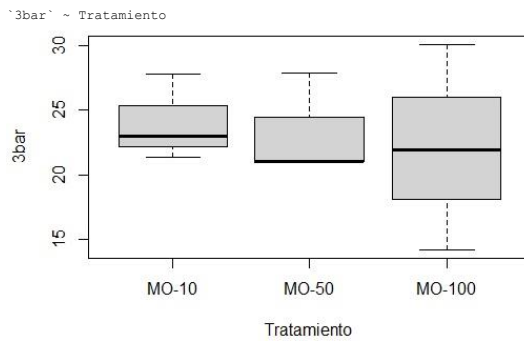
```
> boxplot(`5bar`~Tratamiento)
> aov(`5bar`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `5bar` ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares    5.07545 155.99760
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 5.09898
Estimated effects may be unbalanced
> anova5bar=aov(`5bar`~Tratamiento)
> summary(anova5bar)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2    5.08    2.538  0.098  0.908
Residuals    6 156.00   26.000
> TukeyHSD(anova5bar)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `5bar` ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -1.8214362 -14.59558 10.95271 0.9015314
MO-50-MO-10  -0.6882245 -13.46237 12.08592 0.9850853
MO-50-MO-100  1.1332117 -11.64093 13.90736 0.9602488
```



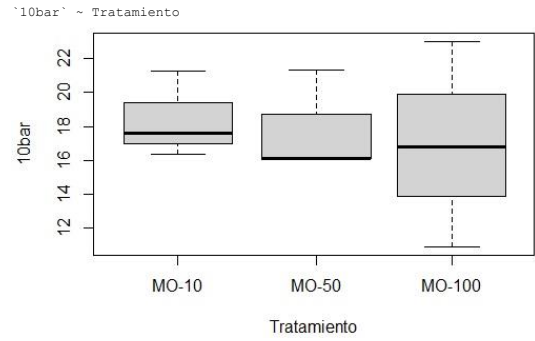
```
> boxplot(`3bar`~Tratamiento)
> aov(`3bar`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `3bar` ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares    5.82958 179.17634
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 5.46468
Estimated effects may be unbalanced
> anova3bar=aov(`3bar`~Tratamiento)
> summary(anova3bar)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2    5.83    2.915  0.098  0.908
Residuals    6 179.18   29.863
> TukeyHSD(anova3bar)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `3bar` ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -1.952070 -15.64238 11.73824 0.9015314
MO-50-MO-10  -0.737584 -14.42789 12.95273 0.9850853
MO-50-MO-100  1.214486 -12.47582 14.90480 0.9602488
```



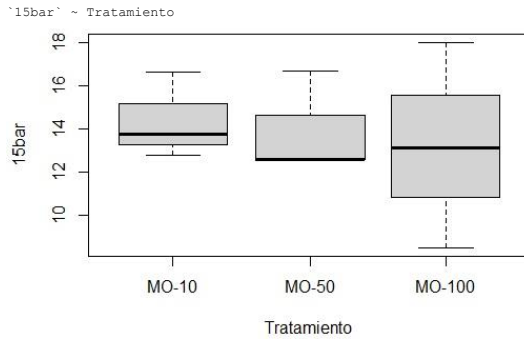
```
> boxplot(`10bar`~Tratamiento)
> aov(`10bar`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `10bar` ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares    3.41856 105.07187
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 4.184732
Estimated effects may be unbalanced
> anova10bar=aov(`10bar`~Tratamiento)
> summary(anova10bar)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2    3.42    1.709  0.098  0.908
Residuals    6 105.07   17.512
> TukeyHSD(anova10bar)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `10bar` ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -1.4948522 -11.978591 8.988886 0.9015314
MO-50-MO-10  -0.5648256 -11.048564 9.918913 0.9850853
MO-50-MO-100  0.9300265  -9.553712 11.413765 0.9602488
```



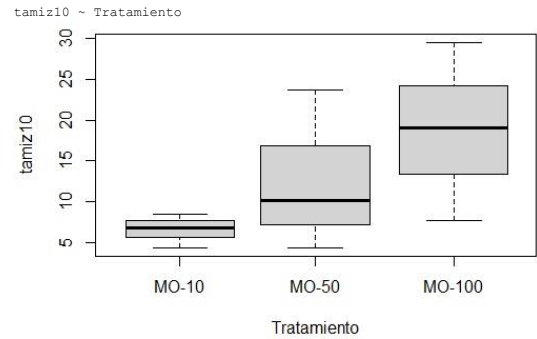
```
> boxplot(`15bar`~Tratamiento)
> aov(`15bar`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `15bar` ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares    2.08801    64.17635
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 3.270483
Estimated effects may be unbalanced
> anova15bar=aov(`15bar`~Tratamiento)
> summary(anova15bar)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2   2.09   1.044   0.098  0.908
Residuals    6  64.18  10.696
> TukeyHSD(anova15bar)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `15bar` ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff          lwr          upr          p adj
MO-100-MO-10 -1.1682681 -9.361598  7.025062  0.9015314
MO-50-MO-10  -0.4414268 -8.634757  7.751903  0.9850853
MO-50-MO-100  0.7268413 -7.466489  8.920172  0.9602488
```



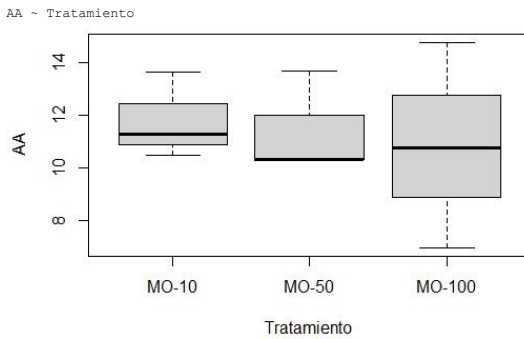
```
> boxplot(`tamiz10`~Tratamiento)
> aov(`tamiz10`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = tamiz10 ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares    222.7812   445.7483
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 8.619245
Estimated effects may be unbalanced
> anovataimiz10=aov(`tamiz10`~Tratamiento)
> summary(anovataimiz10)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  222.8  111.39   1.499  0.296
Residuals    6  445.7   74.29
> TukeyHSD(anovataimiz10)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = tamiz10 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff          lwr          upr          p adj
MO-100-MO-10 12.186667  -9.406572  33.77990  0.2694809
MO-50-MO-10   6.160000 -15.433238  27.75324  0.6740176
MO-50-MO-100 -6.026667 -27.619905  15.56657  0.6847836
```



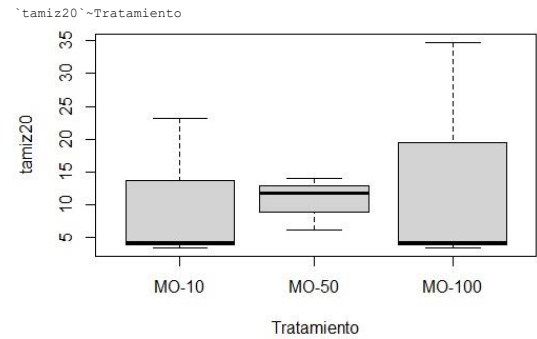
```
> boxplot(AA~Tratamiento)
> aov(AA~Tratamiento)
Call:
aov(formula = AA ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares    1.40398   43.15218
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 2.681796
Estimated effects may be unbalanced
> anovaAA=aov(AA~Tratamiento)
> summary(anovaAA)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2   1.40   0.702   0.098  0.908
Residuals    6  43.15   7.192
> TukeyHSD(anovaAA)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = AA ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff          lwr          upr          p adj
MO-100-MO-10 -0.9579799 -7.676511  5.760551  0.9015314
MO-50-MO-10  -0.3619700 -7.080501  6.356561  0.9850853
MO-50-MO-100  0.5960099 -6.122521  7.314541  0.9602488
```



```
> boxplot(`tamiz20`~Tratamiento)
> aov(`tamiz20`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = tamiz20 ~ Tratamiento)

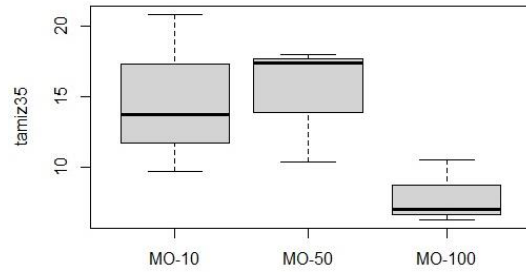
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares    26.9856   917.7248
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 12.36746
Estimated effects may be unbalanced
> anovataimiz20=aov(`tamiz20`~Tratamiento)
> summary(anovataimiz20)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2   27.0   13.49   0.088  0.917
Residuals    6  917.7  152.95
> TukeyHSD(anovataimiz20)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = tamiz20 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff          lwr          upr          p adj
MO-100-MO-10  3.84 -27.14341  34.82341  0.9243589
MO-50-MO-10   0.36 -30.62341  31.34341  0.9992996
MO-50-MO-100 -3.48 -34.46341  27.50341  0.9372987
```

tamiz35 ~ Tratamiento



Tratamiento

```
> boxplot(`tamiz35`~Tratamiento)
> aov(`tamiz35`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = tamiz35 ~ Tratamiento)

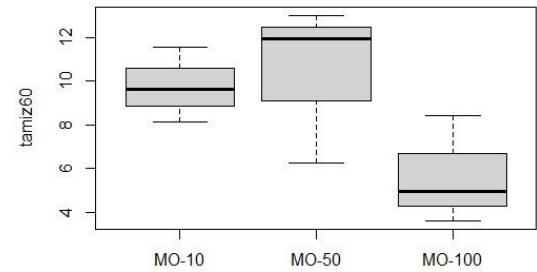
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  100.0928  109.2000
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 4.266146
Estimated effects may be unbalanced
> anovataMiz35=aov(`tamiz35`~Tratamiento)
> summary(anovataMiz35)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  100.1    50.05   2.75  0.142
Residuals    6  109.2    18.20
> TukeyHSD(anovataMiz35)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = tamiz35 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -6.80 -17.4877  3.8877 0.2049344
MO-50-MO-10  0.52 -10.1677  11.2077 0.9878140
MO-50-MO-100  7.32  -3.3677  18.0077 0.1696884
```

tamiz60 ~ Tratamiento



Tratamiento

```
> boxplot(`tamiz60`~Tratamiento)
> aov(`tamiz60`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = tamiz60 ~ Tratamiento)

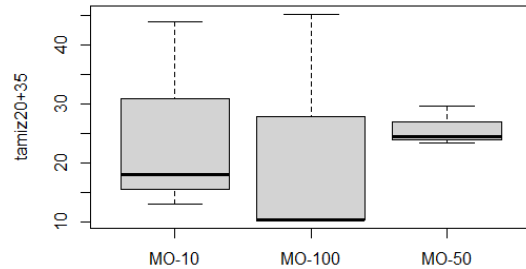
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares   39.66187  44.57173
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 2.72555
Estimated effects may be unbalanced
> anovataMiz60=aov(`tamiz60`~Tratamiento)
> summary(anovataMiz60)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  39.66  19.831   2.67  0.148
Residuals    6  44.57   7.429
> TukeyHSD(anovataMiz60)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = tamiz60 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -4.1066667 -10.934811  2.721478 0.2342188
MO-50-MO-10  0.6266667 -6.201478  7.454811 0.9575343
MO-50-MO-100  4.7333333 -2.094811  11.561478 0.1642783
```

tamiz20+35 ~ Tratamiento



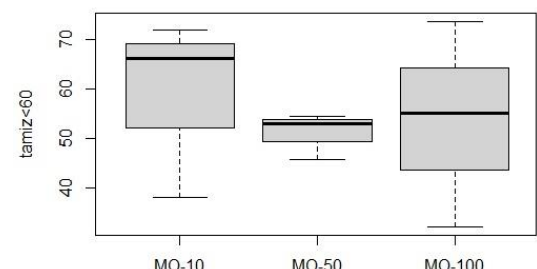
Tratamiento

```
> boxplot(`tamiz20+35`~Tratamiento)
> aov(`tamiz20+35`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `tamiz20+35` ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares    24.2816  1377.4208
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 15.15157
Estimated effects may be unbalanced
> anovaTamiz203560=aov(`tamiz20+35`~Tratamiento)
> summary(anovaTamiz203560)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2   24.3   12.14  0.053 0.949
Residuals    6 1377.4  229.57
>
```

`tamiz<60` ~ Tratamiento



Tratamiento

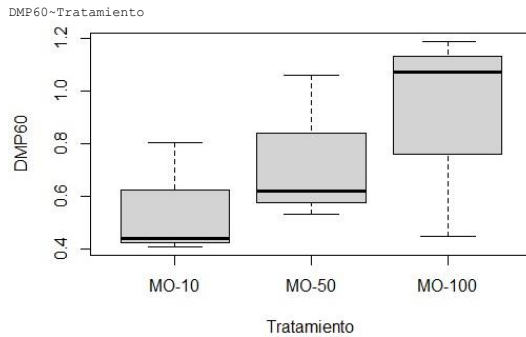
```
> boxplot(`tamiz<60`~Tratamiento)
> aov(`tamiz<60`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `tamiz<60` ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares   91.4777 1562.2421
Deg. of Freedom         2         6

Residual standard error: 16.1361
Estimated effects may be unbalanced
> anovataMiz60=aov(`tamiz<60`~Tratamiento)
> summary(anovataMiz60)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2   91.5   45.74  0.176 0.843
Residuals    6 1562.2  260.37
> TukeyHSD(anovataMiz60)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `tamiz<60` ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -5.120000 -45.54473  35.30473 0.9211856
MO-50-MO-10  -7.666667 -48.09140  32.75806 0.8344743
MO-50-MO-100 -2.546667 -42.97140  37.87806 0.9796826
```



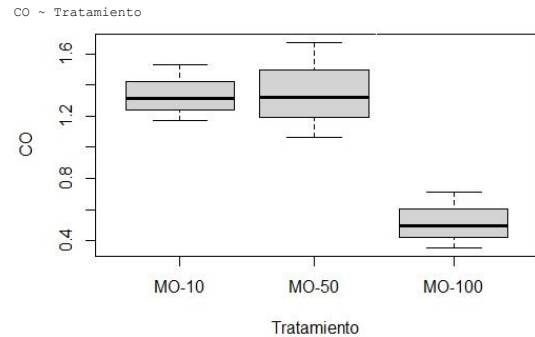
```
> boxplot(DMP60-Tratamiento)
> aov(DMP60-Tratamiento)
Call:
aov(formula = DMP60 ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  0.1867072  0.5765094
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.3099757
Estimated effects may be unbalanced
> anovaDMP60=aov(DMP60~Tratamiento)
> summary(anovaDMP60)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.1867  0.09335  0.972  0.431
Residuals    6  0.5765  0.09608
> TukeyHSD(anovaDMP60)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = DMP60 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10  0.3526200 -0.4239420  1.1291820  0.4016634
MO-50-MO-10   0.1862067 -0.5903554  0.9627687  0.7526711
MO-50-MO-100 -0.1664133 -0.9429754  0.6101487  0.7952396
```



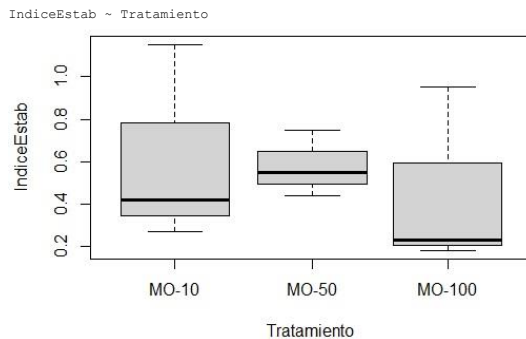
```
> boxplot(CO-Tratamiento)
> aov(CO-Tratamiento)
Call:
aov(formula = CO ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  1.3588539  0.3141148
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.2288066
Estimated effects may be unbalanced
> anovaCO=aov(CO~Tratamiento)
> summary(anovaCO)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  1.3589  0.6794  12.98  0.00662 **
Residuals    6  0.3141  0.0524
---
> TukeyHSD(anovaCO)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = CO ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.81650813 -1.3897226 -0.2432937  0.0111822
MO-50-MO-10   0.01531745 -0.5578970  0.5885319  0.9963029
MO-50-MO-100  0.83182558  0.2586111  1.4050400  0.0102531
```



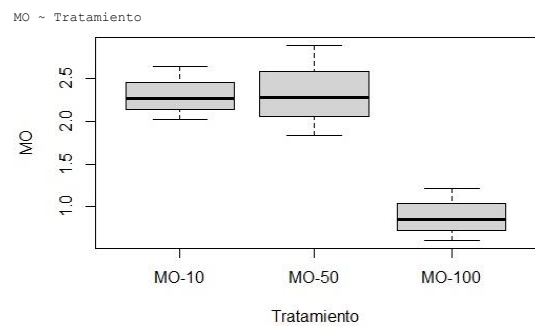
```
> boxplot(IndiceEstab-Tratamiento)
> aov(IndiceEstab-Tratamiento)
Call:
aov(formula = IndiceEstab ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  0.0409408  0.8665207
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.3800265
Estimated effects may be unbalanced
> anovaIndiceEstab=aov(IndiceEstab~Tratamiento)
> summary(anovaIndiceEstab)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.0409  0.02047  0.142  0.871
Residuals    6  0.8665  0.14442
> TukeyHSD(anovaIndiceEstab)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = IndiceEstab ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.15713753 -1.1091934  0.7949183  0.8710365
MO-50-MO-10   -0.03439606 -0.9864519  0.9176598  0.9932560
MO-50-MO-100  0.12274147 -0.8293144  1.0747973  0.9184971
```



```
> boxplot(MO-Tratamiento)
> aov(MO-Tratamiento)
Call:
aov(formula = MO ~ Tratamiento)

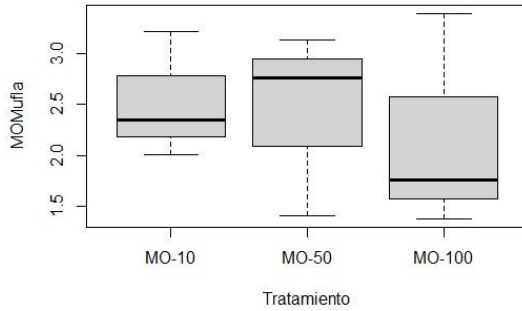
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  4.042323  0.931460
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.3940094
Estimated effects may be unbalanced
> anovaMO=aov(MO~Tratamiento)
> summary(anovaMO)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  4.042  2.0212  13.02  0.00657 **
Residuals    6  0.931  0.1552
---
> TukeyHSD(anovaMO)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = MO ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -1.40952668 -2.3966130 -0.4224404  0.0110543
MO-50-MO-10   0.02399396 -0.9630923  1.0110802  0.9969395
MO-50-MO-100  1.43352064  0.4464344  2.4206069  0.0102163
```

MOMufla ~ Tratamiento



```
> boxplot(MOMufla-Tratamiento)
> aov(MOMufla-Tratamiento)
Call:
aov(formula = MOMufla ~ Tratamiento)

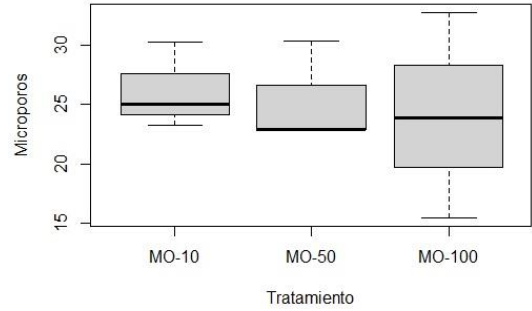
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  0.198181  4.765477
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.8912049
Estimated effects may be unbalanced
> anovaMOMufla=aov(MOMufla-Tratamiento)
> summary(anovaMOMufla)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.198  0.0991  0.125  0.885
Residuals    6  4.765  0.7942
> TukeyHSD(anovaMOMufla)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = MOMufla ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff            lwr            upr            p adj
MO-100-MO-10 -0.34997589 -2.582654  1.882702  0.8826552
MO-50-MO-10  -0.08996901 -2.322647  2.142709  0.9916193
MO-50-MO-100  0.26000689 -1.972671  2.492685  0.9328101
```

Microporos ~ Tratamiento



```
> boxplot(Microporos-Tratamiento)
> aov(Microporos-Tratamiento)
Call:
aov(formula = Microporos ~ Tratamiento)

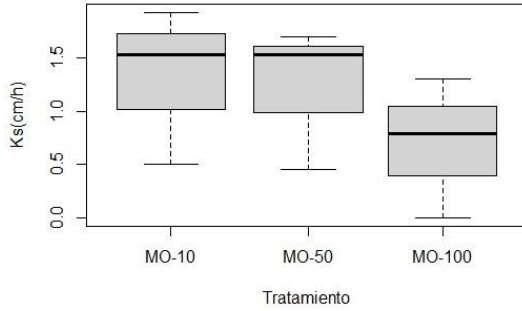
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  6.91631 212.57775
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 5.952279
Estimated effects may be unbalanced
> anovamicroporos=aov(Microporos-Tratamiento)
> summary(anovamicroporos)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  6.92  3.46  0.098  0.908
Residuals    6 212.58  35.43
> TukeyHSD(anovamicroporos)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Microporos ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff            lwr            upr            p adj
MO-100-MO-10 -2.1262480 -17.03811 12.78561 0.9015314
MO-50-MO-10  -0.8033967 -15.71526 14.10846 0.9850853
MO-50-MO-100  1.3228512 -13.58901 16.23471 0.9602488
```

`Ks (cm/h)` ~ Tratamiento



```
> boxplot(`Ks (cm/h)`~Tratamiento)
> aov(`Ks (cm/h)`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `Ks (cm/h)` ~ Tratamiento)

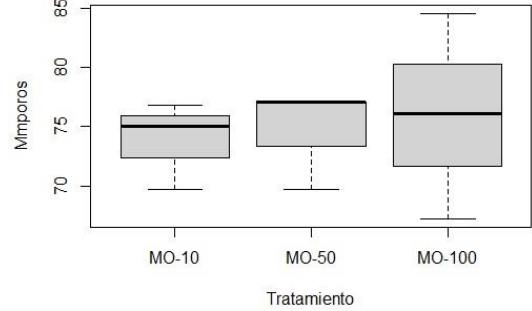
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  0.666865  2.811942
Deg. of Freedom      2          6

Residual standard error: 0.6845853
Estimated effects may be unbalanced
> anovaKs=aov(`Ks (cm/h)`~Tratamiento)
> summary(anovaKs)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.6669  0.3334  0.711  0.528
Residuals    6  2.8119  0.4687
> TukeyHSD(anovaKs)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `Ks (cm/h)` ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff            lwr            upr            p adj
MO-100-MO-10 -0.61867811 -2.333726  1.096369  0.5446315
MO-50-MO-10  -0.09402403 -1.809072  1.621023  0.9845621
MO-50-MO-100  0.52465408 -1.190393  2.239702  0.6380657
```

Mmporos ~ Tratamiento



```
> boxplot(Mmporos-Tratamiento)
> aov(Mmporos-Tratamiento)
Call:
aov(formula = Mmporos ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  6.91631 212.57775
Deg. of Freedom      2          6

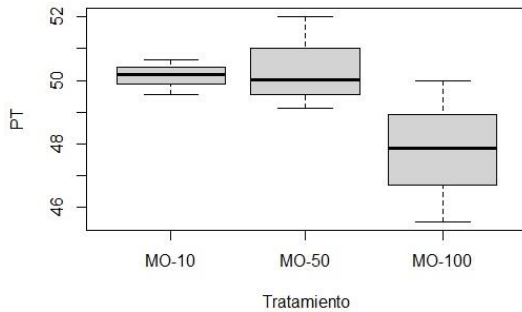
Residual standard error: 5.952279
Estimated effects may be unbalanced
> anovammporos=aov(Mmporos-Tratamiento)
> summary(anovammporos)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  6.92  3.46  0.098  0.908
Residuals    6 212.58  35.43
> TukeyHSD(anovammporos)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Mmporos ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff            lwr            upr            p adj
MO-100-MO-10  2.1262480 -12.78561 17.03811 0.9015314
MO-50-MO-10  0.8033967 -14.10846 15.71526 0.9850853
MO-50-MO-100 -1.3228512 -16.23471 13.58901 0.9602488
```



PT ~ Tratamiento



```
> boxplot(PT-Tratamiento)
> aov(PT-Tratamiento)
Call:
aov(formula = PT ~ Tratamiento)

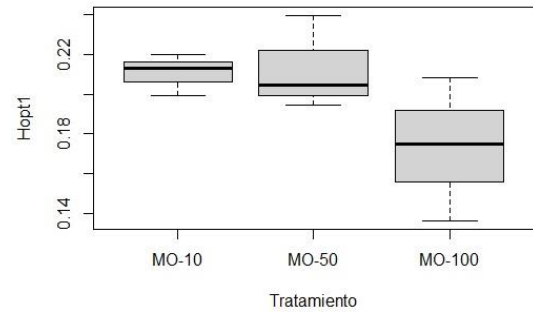
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  12.14563  14.72061
Deg. of Freedom           2           6

Residual standard error: 1.566344
Estimated effects may be unbalanced
> anovaPT=aov(PT-Tratamiento)
> summary(anovaPT)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  12.15    6.073    2.475  0.164
Residuals    6  14.72    2.453
> TukeyHSD(anovaPT)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = PT ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -2.3291290 -6.253190 1.594932 0.2413552
MO-50-MO-10  0.2511267 -3.672935 4.175188 0.9790424
MO-50-MO-100 2.5802557 -1.343806 6.504317 0.1887269
```

Hopt1 ~ Tratamiento



```
> boxplot(Hopt1-Tratamiento)
> aov(Hopt1-Tratamiento)
Call:
aov(formula = Hopt1 ~ Tratamiento)

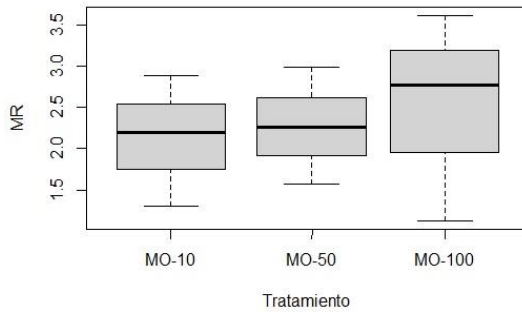
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  0.002974024  0.003936493
Deg. of Freedom           2           6

Residual standard error: 0.0256141
Estimated effects may be unbalanced
> anovaHopt1=aov(Hopt1-Tratamiento)
> summary(anovaHopt1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.002974 0.0014870  2.267  0.185
Residuals    6  0.003936 0.0006561
> TukeyHSD(anovaHopt1)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Hopt1 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.037419114 -0.10158847 0.02675025 0.2510877
MO-50-MO-10  0.002191861 -0.06197750 0.06636122 0.9939688
MO-50-MO-100 0.039610975 -0.02455838 0.10378033 0.2204368
```

MR ~ Tratamiento



```
> boxplot(MR-Tratamiento)
> aov(MR-Tratamiento)
Call:
aov(formula = MR ~ Tratamiento)

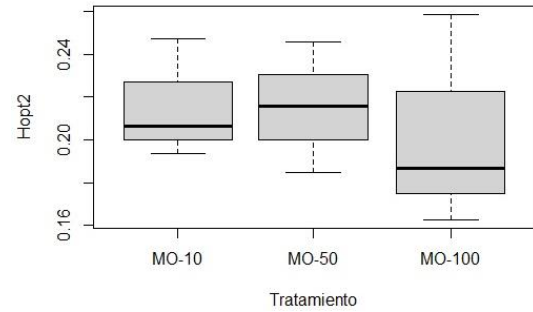
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  0.214982  5.467134
Deg. of Freedom           2           6

Residual standard error: 0.9545622
Estimated effects may be unbalanced
> anovaMR=aov(MR-Tratamiento)
> summary(anovaMR)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.215    0.1075    0.118  0.891
Residuals    6  5.467    0.9112
> TukeyHSD(anovaMR)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = MR ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 0.3751115 -2.016292 2.766515 0.8825082
MO-50-MO-10  0.1432875 -2.248116 2.534691 0.9815967
MO-50-MO-100 -0.2318240 -2.623227 2.159579 0.9527789
```

Hopt2 ~ Tratamiento




```
> boxplot(Hopt2-Tratamiento)
> aov(Hopt2-Tratamiento)
Call:
aov(formula = Hopt2 ~ Tratamiento)

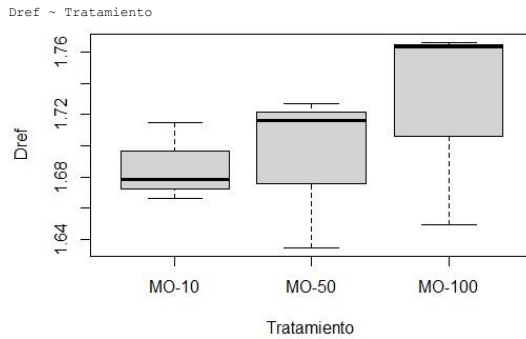
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  0.000329741  0.008407257
Deg. of Freedom           2           6

Residual standard error: 0.03743273
Estimated effects may be unbalanced
> anovaHopt2=aov(Hopt2-Tratamiento)
> summary(anovaHopt2)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.000330 0.0001649  0.118  0.891
Residuals    6  0.008407 0.0014012
> TukeyHSD(anovaHopt2)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Hopt2 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
      diff      lwr      upr    p adj
MO-100-MO-10 -0.0130494456 -0.10682726 0.08072837 0.9059158
MO-50-MO-10 -0.0004292872 -0.09420710 0.09334853 0.9998912
MO-50-MO-100 0.0126201584 -0.08115766 0.10639797 0.9116353
```

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b>
			<b>Versión:01</b>
<b>Proceso:</b> Investigación	<b>Fecha de emisión:</b> 22-Nov-2009	<b>Fecha de versión:</b> 22-Nov-2009	



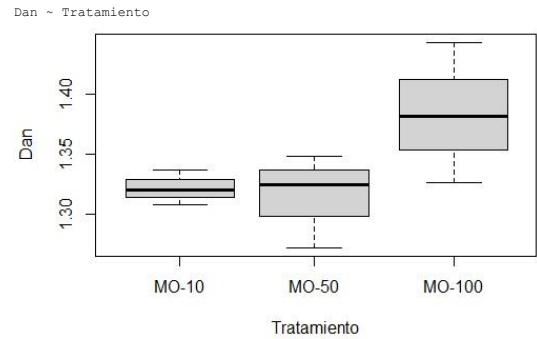
```
> boxplot(Dref-Tratamiento)
> aov(Dref-Tratamiento)
Call:
aov(formula = Dref ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento  Residuals
Sum of Squares  0.002744471  0.015151622
Deg. of Freedom           2           6

Residual standard error: 0.05025207
Estimated effects may be unbalanced
> anovaDref=aov(Dref-Tratamiento)
> summary(anovaDref)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.002744  0.001372   0.543  0.607
Residuals    6  0.015152  0.002525
> TukeyHSD(anovaDref)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Dref ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff              lwr              upr              p adj
MO-100-MO-10  0.039709272 -0.0861840  0.16560254  0.6215792
MO-50-MO-10   0.006084532 -0.1198087  0.13197780  0.9879740
MO-50-MO-100 -0.033624739 -0.1595180  0.09226853  0.7056836
```



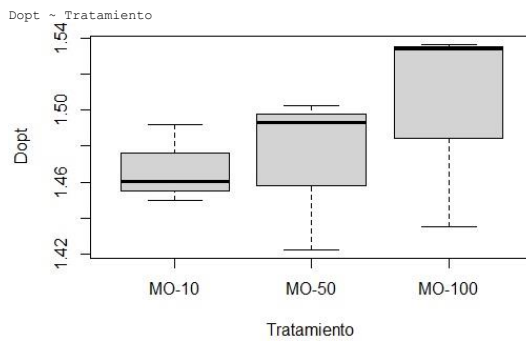
```
> boxplot(Dan-Tratamiento)
> aov(Dan-Tratamiento)
Call:
aov(formula = Dan ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento  Residuals
Sum of Squares  0.008529266  0.010337545
Deg. of Freedom           2           6

Residual standard error: 0.04150812
Estimated effects may be unbalanced
> anovaDan=aov(Dan-Tratamiento)
> summary(anovaDan)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.008529  0.004265   2.475  0.164
Residuals    6  0.010338  0.001723
> TukeyHSD(anovaDan)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Dan ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff              lwr              upr              p adj
MO-100-MO-10  0.061721918 -0.0422657  0.16570954  0.2413552
MO-50-MO-10   -0.006654857 -0.1106425  0.09733277  0.9790424
MO-50-MO-100 -0.068376775 -0.1723644  0.03561085  0.1887269
```



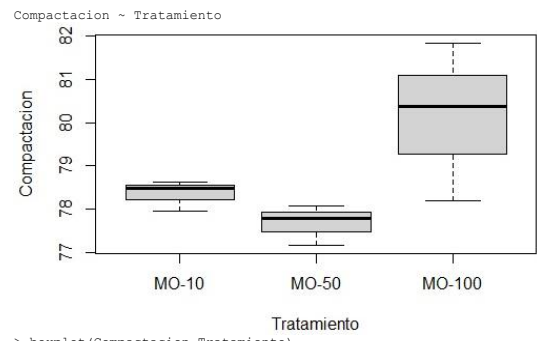
```
> boxplot(Dopt-Tratamiento)
> aov(Dopt-Tratamiento)
Call:
aov(formula = Dopt ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento  Residuals
Sum of Squares  0.002077229  0.01146826
Deg. of Freedom           2           6

Residual standard error: 0.0437193
Estimated effects may be unbalanced
> anovaDopt=aov(Dopt-Tratamiento)
> summary(anovaDopt)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.002077  0.001039   0.543  0.607
Residuals    6  0.011468  0.001911
> TukeyHSD(anovaDopt)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Dopt ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff              lwr              upr              p adj
MO-100-MO-10  0.034547066 -0.07498008  0.14407421  0.6215792
MO-50-MO-10   0.005293543 -0.10423360  0.11482069  0.9879740
MO-50-MO-100 -0.029253523 -0.13878067  0.08027362  0.7056836
```




```
> boxplot(Compactacion-Tratamiento)
> aov(Compactacion-Tratamiento)
Call:
aov(formula = Compactacion ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento  Residuals
Sum of Squares  9.631096  7.319048
Deg. of Freedom           2           6

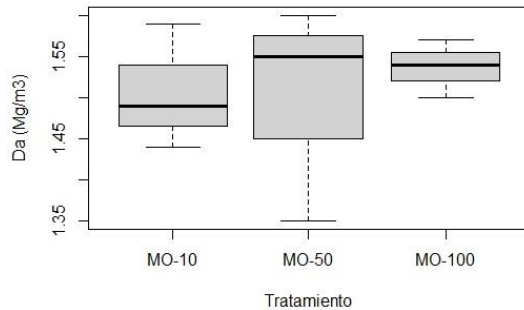
Residual standard error: 1.104464
Estimated effects may be unbalanced
> anovaComp=aov(Compactacion-Tratamiento)
> summary(anovaComp)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  9.631  4.816   3.948  0.0805 .
Residuals    6  7.319  1.220
---
> TukeyHSD(anovaComp)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Compactacion ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff              lwr              upr              p adj
MO-100-MO-10  1.7761679 -0.9907754  4.5431112  0.2004909
MO-50-MO-10   -0.6769939 -3.4439372  2.0899494  0.7443391
MO-50-MO-100 -2.4531618 -5.2201051  0.3137815  0.0771846
```

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

`Da (Mg/m3)` ~ Tratamiento



```
> boxplot(`Da (Mg/m3)`~Tratamiento)
> aov(`Da (Mg/m3)`~Tratamiento)
Call:
aov(formula = `Da (Mg/m3)` ~ Tratamiento)

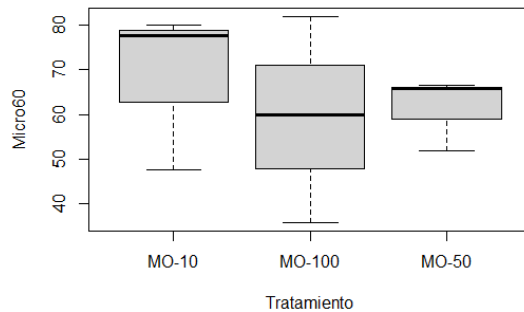
Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  0.00228889 0.04913333
Deg. of Freedom           2           6

Residual standard error: 0.09049248
Estimated effects may be unbalanced
> anovaDa=aov(`Da (Mg/m3)`~Tratamiento)
> summary(anovaDa)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  0.00229  0.001144   0.14  0.872
Residuals    6  0.04913  0.008189
> TukeyHSD(anovaDa)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = `Da (Mg/m3)` ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff             lwr             upr             p adj
MO-100-MO-10  0.030000000 -0.1967050  0.2567050  0.9143870
MO-50-MO-10  -0.006666667 -0.2333716  0.2200383  0.9955251
MO-50-MO-100 -0.036666667 -0.2633716  0.1900383  0.8757222
```

Micro60-Tratamiento




```
> boxplot(Micro60~Tratamiento)
> aov(Micro60~Tratamiento)
Call:
aov(formula = Micro60 ~ Tratamiento)

Terms:
          Tratamiento Residuals
Sum of Squares  139.4745 1857.2917
Deg. of Freedom           2           6

Residual standard error: 17.59399
Estimated effects may be unbalanced
> anovaMicro60=aov(Micro60~Tratamiento)
> summary(anovaMicro60)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Tratamiento  2  139.5    69.74   0.225  0.805
Residuals    6 1857.3   309.55
> TukeyHSD(anovaMicro60)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Micro60 ~ Tratamiento)

$Tratamiento
              diff             lwr             upr             p adj
MO-100-MO-10 -9.226667 -53.30377  34.85043  0.8033199
MO-50-MO-10  -7.040000 -51.11710  37.03710  0.8785445
MO-50-MO-100  2.186667 -41.89043  46.26377  0.9873345
```

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> <b>Investigación</b>	<b>Fecha de emisión:</b> <b>22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión:</b> <b>22-Nov-2009</b>

## 12.2. ANEXO X2. TABLA DE RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICOS DEL ENSAYO

Tratamiento	Profundidad	Arena	Limo	Arcilla	Clase textura	0,3bar	1bar	3bar	5bar	10bar	15bar	AA	tamiz10	tamiz20	tamiz35	Tamiz 20+35	tamiz60	tamiz<60	DMP	IndiceEstab	CO	MO	MOMufla	VI(mm/h)	Ks(cm/h)	Microporos	Mmporos	PT	MR	H opt1	H opt2	Dref	Dopt	Dan	Compactación	Da (Mg/m3)
MO-10	0-30	31,12	31,28	37,60	FAr	32,37	31,71	29,72	27,73	22,76	17,79	14,58	2,80	3,48	19,40	22,88	10,72	63,60	0,48	0,51	0,34	0,59	3,08	2,12	0,15	32,37	67,63	48,30	2,99	0,19	0,24	1,72	1,50	1,37	79,57	1,62
MO-10	0-30	43,12	27,28	29,60	FAr	25,93	25,40	23,81	22,21	18,23	14,25	11,68	7,64	3,36	7,44	10,80	10,52	71,04	0,46	0,27	0,49	0,85	2,59	0,55	2,82	25,93	74,07	47,69	3,09	0,17	0,21	1,76	1,53	1,39	78,69	1,53
MO-10	0-30	44,40	21,28	34,32	FArA	25,45	24,92	23,36	21,80	17,89	13,98	11,46	14,44	7,88	12,48	20,36	14,52	50,68	0,73	0,54	1,48	2,55	2,18	1,73	4,46	25,45	74,55	50,53	2,26	0,21	0,20	1,70	1,48	1,31	76,96	1,58
MO-50	0-30	37,12	31,28	31,60	FAr	33,62	32,93	30,86	28,80	23,63	18,47	15,15	14,28	17,36	16,56	33,92	12,16	39,64	0,76	0,85	1,33	2,29	3,76	0,36	1,35	33,62	66,38	50,37	3,50	0,22	0,25	1,68	1,46	1,32	78,20	1,48
MO-50	0-30	41,12	23,28	35,60	FAr	25,47	24,94	23,38	21,82	17,90	13,99	11,47	16,12	13,84	18,32	32,16	12,60	39,12	0,84	0,81	1,26	2,18	2,75	0,49	0,68	25,47	74,53	50,17	1,19	0,21	0,22	1,71	1,49	1,32	77,34	1,32
MO-50	0-30	29,12	33,28	37,60	FAr	28,94	28,35	26,57	24,79	20,35	15,90	13,04	3,32	9,36	16,76	26,12	19,92	50,64	0,48	0,85	2,24	3,86	3,17	0,26	0,01	28,94	71,06	53,56	5,82	0,27	0,25	1,59	1,38	1,23	77,54	1,64
MO-100	0-30	51,12	23,28	25,60	FArA	20,80	20,37	19,09	17,81	14,62	11,43	9,37	15,04	3,60	6,64	10,24	9,36	65,36	0,66	0,24	1,56	2,68	2,38	1,13	4,80	20,80	79,20	49,96	0,96	0,21	0,20	1,69	1,47	1,33	78,36	1,46
MO-100	0-30	35,12	31,28	33,60	FAr	25,75	25,22	23,64	22,06	18,10	14,15	11,60	4,92	5,64	18,92	24,56	14,44	56,08	0,54	0,64	1,75	3,01	2,99	0,40	6,43	25,75	74,25	51,71	1,58	0,24	0,24	1,65	1,43	1,28	77,71	1,50
MO-100	0-30	41,12	27,28	31,60	FAr	23,73	23,24	21,78	20,33	16,68	13,04	10,69	7,64	3,24	10,88	14,12	42,96	35,28	0,59	1,33	1,63	2,82	2,78	1,40	8,57	23,73	76,27	50,98	1,22	0,22	0,22	1,68	1,46	1,30	77,47	1,59
MO-10	30-60	31,12	29,28	39,60	FAr	30,29	29,67	27,80	25,94	21,29	16,64	13,65	8,44	23,12	20,80	43,92	9,60	38,04	0,63	1,15	1,17	2,02	3,22	NA	1,52	30,29	69,71	50,65	2,88	0,22	0,25	1,67	1,45	1,31	78,48	1,59
MO-10	30-60	45,12	29,28	25,60	FAr	25,00	24,49	22,95	21,42	17,58	13,74	11,26	6,80	3,44	9,68	13,12	8,12	71,96	0,46	0,27	1,53	2,63	2,35	NA	1,92	25,00	75,00	50,19	1,30	0,21	0,21	1,68	1,46	1,32	78,63	1,44
MO-10	30-60	48,40	23,28	28,32	FArA	23,22	22,75	21,32	19,90	16,33	12,76	10,46	4,32	4,28	13,72	18,00	11,56	66,12	0,45	0,42	1,31	2,26	2,01	NA	0,51	23,22	76,78	49,56	2,20	0,20	0,19	1,71	1,49	1,34	77,96	1,49
MO-50	30-60	31,12	29,28	39,60	FAr	30,32	29,70	27,84	25,97	21,32	16,66	13,66	4,32	11,76	18,00	29,76	13,00	52,92	0,50	0,75	1,67	2,88	3,14	NA	1,69	30,32	69,68	52,01	2,25	0,24	0,25	1,63	1,42	1,27	77,79	1,60
MO-50	30-60	45,12	25,28	29,60	FAr	22,87	22,40	21,00	19,59	16,08	12,57	10,30	23,64	14,04	10,40	24,44	6,24	45,68	0,94	0,44	1,06	1,83	1,41	NA	0,45	22,87	77,13	49,13	2,99	0,19	0,18	1,73	1,50	1,35	78,07	1,55
MO-50	30-60	45,12	21,28	33,60	FAr	22,91	22,44	21,04	19,63	16,11	12,59	10,32	10,08	6,12	17,36	23,48	11,92	54,52	0,66	0,55	1,32	2,27	2,76	NA	1,52	22,91	77,09	50,02	1,57	0,20	0,22	1,72	1,49	1,32	77,18	1,35
MO-100	30-60	65,12	17,28	17,60	FA	15,49	15,17	14,22	13,27	10,89	8,51	6,98	29,52	4,20	6,28	10,48	4,96	55,04	1,06	0,18	0,36	0,61	1,76	NA	0,79	15,49	84,51	45,56	1,13	0,14	0,16	1,76	1,53	1,44	81,83	1,50
MO-100	30-60	43,12	23,28	33,60	FAr	23,91	23,42	21,95	20,48	16,81	13,14	10,77	7,60	3,44	7,00	10,44	8,40	73,56	0,45	0,23	0,49	0,85	1,37	NA	0,01	23,91	76,09	47,88	2,77	0,17	0,19	1,77	1,54	1,38	78,20	1,57
MO-100	30-60	26,40	27,28	46,32	Ar	32,74	32,07	30,05	28,04	23,02	17,99	14,75	19,00	34,72	10,52	45,24	3,60	32,16	0,77	0,95	0,71	1,22	3,40	NA	1,30	32,74	67,26	49,98	3,61	0,21	0,26	1,65	1,44	1,33	80,36	1,54

	<b>TRABAJO DE GRADO</b>		<b>Código: IN-IN-001</b> <b>Versión:01</b>
	<b>Proceso:</b> Investigación	<b>Fecha de emisión:</b> 22-Nov-2009	<b>Fecha de versión:</b> 22-Nov-2009

### ANEXO X3. DESCRIPCIÓN DEL SUELO BAJO ESTUDIO

**Figura 26**

*Fotografía del Perfil del Suelo V26 de la Serie GLar*



Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004)