

**EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD Y BIOMASA MICROBIANA DE UN SUELO
AFECTADO POR EROSIÓN MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS
ORGÁNICAS, EN LA ZONA ALTA DE LADERA DEL DEPARTAMENTO DEL
VALLE DEL CAUCA**

JENNY MARCELA CARABALÍ ESCOBAR.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE -
EIDENAR
SANTIAGO DE CALI
2015**

**EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD Y BIOMASA MICROBIANA DE UN SUELO
AFECTADO POR EROSIÓN MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS
ORGÁNICAS, EN LA ZONA ALTA DE LADERA DEL DEPARTAMENTO DEL
VALLE DEL CAUCA**

JENNY MARCELA CARABALI ESCOBAR

**Trabajo de grado presentado para obtener el título de:
Ingeniera Agrícola**

Directora.

DIANA MARIA DELGADO LONDOÑO

Ingeniera Agrónoma, M.Sc.

Universidad del Valle

Co-director.

RAUL MADRIÑAN MOLINA

Ingeniero Agrónomo. Ph.D.

Universidad Nacional de Colombia

Sede Palmira

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE -

EIDENAR

SANTIAGO DE CALI

2015

Nota de aceptación

Ing. Javier Jaramillo Bravo
Jurado Evaluador

Ing. Jaime Ernesto Díaz
Jurado Evaluador

Dedicatoria

*Dedicado a Dios y a la Virgen de Guadalupe,
quienes con su infinito amor y bondad, me dieron la fuerza,
la salud y licencia de terminar satisfactoriamente
este proyecto.*

*Dedico especialmente a Belisario y Lola, mis padres.
Por su amor y apoyo incondicional,
por su ejemplo de vida, con el cual me enseñaron
que todo lo que se hace con amor y
sacrificio siempre vale la pena.*

*...a ti mi guerrera invencible
a ti luchadora incansable
a ti mi amiga constante
de todas las horas...Madre*

Agradecimientos

A Dios y a la Virgen, por brindarme la oportunidad de lograr este objetivo personal y por darme la sabiduría y entendimiento para lograr esta meta.

Agradezco a mi familia por darme su amor, apoyo, confianza, protección y consuelo en los buenos y malos momentos.

A la Universidad del Valle, por darme la oportunidad de formarme como profesional.

A mi directora de Trabajo de Grado la Ing. Diana María Delgado, por el acompañamiento constante, por su voto de confianza, las enseñanzas adquiridas no solo a nivel académico sino personal y por permitirme hacer parte de este proyecto.

A mi amiga y compañera de Trabajo de Grado Diana Marcela Cuero, quien vivió a mi lado esta maravillosa experiencia y de quien recibí un apoyo constante aun en las situaciones más difíciles.

A todos y cada uno de los que estuvieron presentes de una u otra forma en el desarrollo de este trabajo.

“Los llevo en mi corazón”...

Tabla de Contenido

Capítulo 1. Introducción e información general	1
Introducción	2
1. Antecedentes e Importancia.....	3
2. Justificación	6
3. Objetivos	8
3.1. General.....	8
3.2. Específicos	8
Capítulo 2.	
Marco Teórico.....	9
2.1. Suelo	10
2.1.1. Composición del suelo.....	10
2.2. Degradación del suelo.....	11
2.3. Erosión hídrica.....	12
2.3.1. Tipos de erosión.....	13
2.4. Materia Orgánica del Suelo (MO).	14
2.4.1. Importancia de la materia orgánica en el suelo.....	15
2.4.2. Importancia de la materia orgánica en las propiedades físicas del suelo.....	15
2.4.3. Importancia de la materia orgánica en las propiedades químicas del suelo	16
2.4.4. Importancia de la materia orgánica en las propiedades biológicas del suelo	16
2.5. Actividad Microbiana del Suelo (AMS) y Biomasa Microbiana del suelo (BMS)	17
2.5.1. Biota del suelo.....	17
2.5.2. Respiración del suelo	17
2.5.4. Biomasa Microbiana del Suelo (BMS)	19
2.6. Coeficiente Metabólico del Suelo (CMS).....	20
Capítulo 3.	
Metodología	21
3.1. Diagnóstico	23
Compendio y selección de información.....	23
3.1.1. Ubicación Geográfica de la zona de estudio.....	23
3.1.2. Levantamiento de suelo	23
3.2. Campo	25
3.2.1. Reconocimiento y selección	25
3.2.2. Selección de enmiendas	25
3.2.3. Toma de Muestras.....	26
3.3. Laboratorio.....	27
3.3.1. Montaje experimental	27

	vii
3.3.2. Determinaciones	29
3.3.3. Análisis estadístico.....	36
Capítulo 4.	
Resultados y análisis	37
4.1. Caracterización inicial del suelo	38
4.2. Materia Orgánica (MO)	38
4.3. Densidad Aparente (Da)	40
4.4. Densidad real (Dr).....	41
4.5. Porosidad (Po).....	42
4.4. Actividad microbiana del suelo (AMS)	42
4.5. Biomasa microbiana del suelo (BMS)	44
4.6. Coeficiente Metabólico del Suelo	46
Capítulo 5.	
Conclusiones y recomendaciones	48
Conclusiones	49
Recomendaciones	50
Capítulo 6.	
Bibliografía	51
Anexos	57

Lista de tablas

Tabla 1. Levantamiento de suelo y zonificación de tierras del área de estudio Fuente: (IGAC, 2004).	24
Tabla 2. Principales características de la zona elegida. Fuente: (Autor, 2014)	25
Tabla 4. Descripción de los tratamientos y nombres de las variables. Fuente: (Autor, 2014)	28
Tabla 5. Variables respuesta y métodos utilizados. Fuente: (Autor, 2004)	30
Tabla 6. Porcentajes de Materia orgánica deseables según el grado de fertilidad del suelo. Fuente: (Pardo et al., 2004).....	31
Tabla 7. Clasificación de la materia orgánica de acuerdo al clima. Fuente: (Pardo, et al., 2004)	31
Tabla 9. Clasificación de la clase textural dependiendo de la variación de los contenidos de arenas, limos y arcillas. Fuente: (Jaramillo, 2002)	33
Tabla 10. Valores máximos de Da en el suelo, de acuerdo a su textura. Fuente: (Jaramillo, 2002)	34
Tabla 12. Clasificación de la porosidad total del suelo. Fuente: Kaurichev,(1984), tomado de (Jaramillo, 2002).....	35
Tabla 13. Porcentajes de retención de humedad para diferentes suelos, según la textura. Fuente: (Pernett, 2006).....	35
Tabla 14. Caracterización inicial del suelo. Fuente: (Autor, 2014)	38
Tabla 15. Materia Orgánica del suelo en (%) por zona de la cárcava. Fuente: (Autor, 2015)	39
Tabla 16. Densidad aparente del suelo. Fuente: (Autor, 2015)	40
Tabla 17. Densidad real del suelo. Fuente: (Autor, 2015).....	41
Tabla 18. Porosidad del suelo (%). Fuente: (Autor, 2015)	42
Tabla 19. Humedad promedio de los tratamientos (%). Fuente: (Autor, 2015)	43
Tabla 20. Actividad microbiana del suelo ($\mu\text{gCO}_2/\text{gss}$). Fuente: (Autor, 2015)	43
Tabla 21. Biomasa microbiana del suelo ($\mu\text{gC/gss}$). Fuente: (Autor, 2015)	45
Tabla 22. Coeficiente metabólico del suelo (qC/h). Fuente: (Autor, 2015)	46

Lista de figuras

Figura 1. Composición física ideal del suelo. Fuente: (Jaramillo, 2002)	11
Figura 2. Ecuación Coeficiente metabólico del suelo. Fuente: (Salamanca, 2008).....	20
Figura 3. Esquema Metodológico del proyecto.	22
Fuente: (Autor, 2014).....	22
Figura 4. a) Esquema de toma de muestras en la cárcava. Fuente: Adaptado de FAO (1997)	
b) Toma de muestra en campo. Fuente: (Autor, 2014)	27
Figura 5. Estructura para el montaje de muestras. Diseñó: (Jaramillo, 2014).....	29

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Comparación de medias entre el contenido de materia orgánica del suelo en cada uno de los tratamientos. Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 % (Prueba de Tukey).....	39
Gráfico 2. Comparación de medias entre el contenido de Da del suelo en cada uno de los tratamientos. Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 % (Prueba de Tukey).	41
Gráfico 3. Comparación de medias entre el contenido de Actividad Microbiana del suelo en cada uno de los tratamientos. Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 % (Prueba de Tukey).....	44
Gráfico 4. Comparación de medias entre el contenido de Biomasa Microbiana del Suelo en cada uno de los tratamientos. Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 % (Prueba de Tukey).....	45
Gráfico 5. Comparación de medias del Coeficiente Metabólico del Suelo en cada uno de los tratamientos. Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 % (Prueba de Tukey).	46

Lista de imágenes

Imagen 1. Erosión Hídrica (Cárcava). Corregimiento de Pavas, Valle del Cauca. Fuente: (Autor, 2014)	1
Imagen 2. Erosión Hídrica. Municipio de Restrepo, Valle del Cauca. Fuente: (Avendaño, 2014)9	
Imagen 3. Montaje experimental en laboratorio. Fuente: (Autor, 2014)	21
Imagen 4. Determinación de Actividad microbiana en Laboratorio. Fuente: (Autor, 2014).....	37

Capítulo 1.

Introducción e información general



Imagen 1. Erosión Hídrica (Cárcava). Corregimiento de Pavas, Valle del Cauca.

Fuente: (Autor, 2014)

Introducción

La determinación de la actividad y la biomasa microbiana del suelo, se considera como un principal indicador de la calidad del mismo, puesto que estas definen las características principales del suelo. Su presencia en el suelo implica que existe un buen contenido de materia orgánica; en cuanto a fertilidad su participación es fundamental en los ciclos de los nutrientes. Las propiedades físicas del suelo a su vez se ven favorecidas, ya que la acción de la biomasa microbiana participa en la formación de una estructura estable en el tiempo debido a los enlaces que la materia orgánica hace con los minerales presentes en el suelo. Todo esto implica que el suelo tiene una gran capacidad para la producción agrícola o el sostenimiento de las plantas de forma natural y es destacable anotar que así como estas propiedades biológicas son muy importantes para el suelo, son al mismo tiempo muy sensibles a los cambios del medio, es decir cualquier interacción o alteración puede poner en riesgo su permanencia o efectiva funcionalidad en el mismo.

Uno de los principales causantes de la disminución de la acción microbiana en el suelo es la erosión hídrica, que es un proceso de degradación del suelo por la acción del agua ya sea de aporte natural por la precipitación o por la inadecuada aplicación del agua de riego en las plantaciones agrícolas. En los suelos afectados por erosión hídrica, la actividad y biomasa se ven estrechamente afectadas, puesto que estas reaccionan directamente con la materia orgánica, que es la primera que se pierde cuando aparece la erosión; este fenómeno se debe al desprendimiento superficial de las partículas del suelo (que se caracterizan por poseer generalmente el mayor contenido de nutrientes) a causa de la acción directa de la acción de las gotas de lluvia sobre el suelo descubierto y su posterior arrastre por escorrentía, dejando así el suelo estéril e indefenso ante la acción de los agentes naturales.

Es por causa de los motivos anteriormente mencionados que se desarrolla este proyecto a fin de conocer como es la evolución de la actividad y biomasa de un suelo ya afectado por erosión hídrica en su forma más severa (cárcava) en zona de ladera ante la aplicación de enmiendas orgánicas.

1. Antecedentes e Importancia

Alvarez, & Santanatoglia, (1985), describieron la influencia de algunas características edáficas sobre la respiración y la biomasa microbiana, habiendo utilizado para ello un conjunto de suelos a los que se mantuvo bajo condiciones ambientales semejantes durante varios meses. Los autores encontraron que la respiración y la biomasa fueron mayores en los suelos con mayor contenido de materia orgánica, este factor apareció como el más importante en la regulación del medio biológico. También encontraron que la falta de correlación entre la textura y las propiedades biológicas, así como también la alta relación encontrada entre las mismas y el carbono y el nitrógeno pone de manifiesto la importancia de la materia orgánica como fuente de nutrientes y energía para los microorganismos.

Jackson, (2000), describió los cambios en las respuestas del suelo y los testigos después de la adición de un cultivo de cobertura, marcado en las condiciones de manejo del cultivo y obtuvo un incremento del C-biomasa microbiana después de incorporar al suelo residuos de *Phaceliata nacetifolia* como abono verde, en un suelo *Typic Argixeroll* de California USA. Los valores del C-biomasa microbiana, se incrementaron notablemente durante las dos primeras semanas de incorporar el abono verde hasta lograr un pico máximo a una profundidad de (0-30 cm). Sin embargo, estos niveles presentaron una reducción sustancial, hasta equilibrarse a los 60 días aproximadamente.

Tapia et al. (2002), compararon la relación del escurrimiento superficial y la producción de sedimentos con indicadores de sostenibilidad: biomasa microbiana, materia orgánica y nutrimentos del suelo, en suelos de ladera de Ajuno, Michoacán, con dos escenarios de manejo del suelo; labranza de conservación con cobertura del suelo y labranza convencional, encontrando que en los suelos sometidos a labranza cero y con 100% de residuo de cosecha sobre el mismo, se redujo en un 400% el escurrimiento superficial y la producción de sedimentos, además de mostrar valores superiores en los indicadores de sostenibilidad respecto al tratamiento con labranza convencional.

Sánchez et al. (2005), estudiaron la variación del contenido y composición de la materia orgánica (MO) con respecto a la altitud y su influencia sobre la actividad y la biomasa microbiana en suelos de la Cuenca del río Maracay y obtuvieron que los mayores valores de Carbono Orgánico, Carbono en la biomasa microbiana y respiración basal se observaron en la zona más elevada y los menores, en la zona intermedia.

Rivera, (2005), evaluó los resultados del Programa de Manejo Integrado de Arvenses para cultivos, mediante la selectividad de las coberturas "nobles" (plantas de porte bajo y rastrero que protegen el suelo contra la erosión, sin influir con el cultivo), en el estudio de Causas y Consecuencias de la Erosión de Suelos de Ladera Colombiana encontrando que las pérdidas de suelo son tres veces mayores en los suelos donde se usaron herbicidas en forma

generalizada que en aquellos donde se usó el azadón, debido a que los herbicidas dejan el suelo totalmente desnudo y expuesto al impacto directo de la lluvia.

Blanchart et al. (2006), investigaron el efecto de la cobertura de *Mucuna pruriens* sobre las Comunidades de macrofauna y nematofauna bajo un cultivo de maíz (*Zea mays*) en Benin África. Como tratamientos se aplicaron los siguientes: un sistema bajo labranza tradicional, un sistema bajo fertilización mineral y un sistema bajo cobertura. Se encontró que el establecimiento de la cobertura favoreció el desarrollo de las lombrices de tierra, milpiés, ciempiés, coleópteros adultos, dípteros e isópodos, y redujo las poblaciones de hormigas y *Dermaptera*; en comparación con los demás tratamientos.

Igualmente, *Blanchart et al. (2006)*, encontraron que el uso de *Mucuna pruriens* como cobertura intercalada en una plantación de maíz (*Zea mays*), es una buena opción para la conservación del recurso suelo, debido a que su implementación redujo significativamente los valores de pérdida de suelo en un 91 y 69%, respecto a los suelos sometidos a sistemas con labranza tradicional sin fertilización y labranza tradicional con fertilización mineral.

Mora, (2006), realizó un experimento donde examinó si la producción de CO₂ se reduce entre más alejado del rizoplaneo de la planta esté el volumen de suelo, debido a una menor influencia dinámica rizosférica; los resultados mostraron que el mayor desprendimiento de CO₂ en un período de 96 horas, es mayor en el tercio más próximo al rizoplaneo de la raíz. Esto corrobora la incidencia de la rizósfera sobre la actividad microbiana, pues en los espacios rizosféricos hay presencia de mayor cantidad de exudados, mucilagos y gomas fácilmente metabolizables por los microorganismos, de donde obtienen su energía y liberan CO₂. También encontraron que la estimación de la actividad microbiana puede constituir un importante indicador de la calidad del suelo, pues ésta se incrementa a medida que crecen las poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos, actuando sobre los substratos orgánicos; es decir, que a la vez es un indicador de la magnitud de la poblaciones y de la calidad de los materiales orgánicos que han ingresado al suelo.

Fosu et al. (2007), estudiaron las dinámicas en la mineralización y biomasa microbiana durante la descomposición de cuatro leguminosas usadas como abono verde: *Mucuna pruriens*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria retusa* y *Calopogonium mucunoides*. El estudio se realizó en un suelo franco arenoso clasificado como *Ferric Lixisol*. Se obtuvo un incremento en la biomasa microbiana del 250% durante los primeros 4 días de aplicados los abonos verdes, en comparación con el testigo; que fue explicado como un proceso inicial de inmovilización del carbono por parte de los microorganismos. El tratamiento donde se usó la *Mucuna pruriens*, mostró el segundo incremento en la biomasa microbiana seguido de la *Crotalaria juncea*, sin embargo los valores en la biomasa microbiana en los tratamientos con abono verde se redujeron a partir del quinto día hasta el día 66, en casi el 80%; describiendo un proceso de mineralización.

Tejada et al. (2007), investigaron el efecto de diferentes abonos verdes sobre las propiedades biológicas del suelo y el rendimiento de maíz (*Zea mays*), en un suelo *Typic Xerofluvent* de España. Ellos obtuvieron un incremento general en la tasa de respiración del suelo, en las parcelas donde se establecieron los abonos verdes en comparación con el tratamiento testigo, que redujo su tasa de emisión de CO₂ en el tiempo, posiblemente por disminución de la materia orgánica debido a su mineralización. Los autores concluyen que la tasa de respiración del suelo, depende de la composición química de los abonos verdes usados y de su relación C:N.

Lillo et al. (2011), determinaron el carbono y el nitrógeno en la biomasa microbiana en un transecto altitudinal en el Parque Nacional Conguillío (38° S), Chile, con el fin de describir la actividad biológica y la dinámica de nutrientes en el suelo de las zonas de alta cordillera, encontrando que las actividades biológicas fueron sensibles a las variaciones de altitud y sus mayores valores se encontraron en zonas bajas que presentaban condiciones climáticas más favorables.

Ramírez et al. (2012), identificaron y cuantificaron la actividad biótica (microbiana y macrofauna) de un *Andisol* bajo diferentes sistemas de manejo, encontrando que la actividad microbiana es especialmente intensa en torno de una raíz vegetal. El análisis estadístico presentó un marcado efecto diferencial de algunos sistemas de manejo del suelo, sobre la actividad biótica a través de la producción de CO₂, mostrando que el suelo que aportó el mayor número de moles de CO₂ fue el suelo virgen, seguido del suelo de 10 años de barbecho, las respiraciones más bajas se registraron en los suelos con más de 10 años de labranza y el suelo totalmente erosionado, con más de veinte años de labranza.

2. Justificación

El proceso erosivo del suelo es una de las principales causas de la reducción de la superficie disponible en el planeta dedicada a la práctica de labores agropecuarias, disminuyendo la capacidad de producir alimentos y satisfacer la demanda de una población que cada día es mayor (Betancourt, 2004). De acuerdo con *Pimentel et al., (1995)*, citados por *Müller & Castillo (1997)*, en el ámbito mundial los niveles más altos de erosión se tienen en Asia, África y Suramérica, con valores promedios entre 30 y 40 Mg ha⁻¹ año⁻¹; valores preocupantes si se tiene en cuenta que bajo condiciones ideales de manejo del suelo, éste podría formarse a una tasa de una pulgada en cerca de 30 años, es decir, cerca de 0,8mm año y bajo condiciones naturales, ésta tasa podría ser de una pulgada en un rango que oscila entre 300 y 1000 años.

La diferencia existente entre la tasa de formación y de pérdida de suelo es sin duda un buen motivo para desarrollar programas que prevengan la aparición de la erosión en sus diferentes formas, si se considera que las pérdidas tolerables del mismo rondan las 11 ton ha⁻¹ año⁻¹ (*Johnson, 1987*).

El principal problema de la erosión radica en que su presencia en los suelos limita su capacidad de mantener plantas en forma natural, de conservar su estructura y principalmente de retener los nutrientes, haciendo así que éste pierda su fertilidad y todo su valor tanto ambiental como económico y social. La erosión se lleva consigo en primera instancia, el horizonte superficial del suelo, que en su mayoría es el horizonte orgánico que posee la mayor cantidad de nutrientes; es decir se pierde la zona con mayor actividad microbiana, generando con esto una disminución en la descomposición de nutrientes y formación de agregados estables, limitando su fertilidad.

En el caso particular de los países latinoamericanos que concentran sus territorios en la zona tropical, donde las condiciones de alta pluviosidad junto con las difíciles características topográficas impresas en la región, por el cordón montañoso andino, confieren una vulnerabilidad alta, la erosión es acentuada por la acción del agua en forma de lluvia (*León, 2001*), generando preocupación al tener en cuenta el asentamiento poblacional de estas zonas, factores que en conjunto contribuyen a alterar la aptitud del uso de la tierra.

Colombia, en particular, es un país que suma todas las anteriores características, y en el cual se observa que en su zona montañosa la presión demográfica sobre los recursos naturales limitados es alta, los tipos de tecnologías utilizados y las distintas formas de organización social asumidas por los grupos humanos ahí presentes van desde la destrucción masiva de coberturas vegetales protectoras y remoción en masa o pérdida de suelos por erosión, hasta

procesos lentos de alteración de los suelos por presencia continua de contaminantes, en donde el desmonte del material vegetal natural para la incorporación de especies de uso agrícola y su consecuente laboreo periódico rompen la superficie de los terrenos, agudizando los procesos erosivos del suelo generando problemas tanto ambientales como económicos, debido al detrimento de las propiedades del suelo. Estos costos pueden reflejarse en la pérdida de productividad, fertilidad y por tanto en los costos del valor de la tierra, depreciaciones que se estima oscilan entre los 525 y 588 millones de dólares (*Colacicco et al., 1989*).

Conociendo las consecuencias que la erosión del suelo genera sobre las propiedades de mismo, no solo en su parte física, sino las alteraciones a nivel químico y biológico, como resultado de la escasa o nula presencia de organismos vivos que limitan su fertilidad y por tanto el sostenimiento económico de la sociedad dependiente del recurso y la seguridad de las personas que viven bajo amenaza en zonas afectadas por la degradación del suelo; es necesario implementar políticas que den alternativas de control a estos procesos. Desde el punto de vista académico este proyecto busca alternativas que le permitan el control de la erosión hídrica y la recuperación de la calidad del suelo, tanto de fertilidad como de soporte y eso lo busca a partir de la incorporación de enmiendas orgánicas y la evaluación de su papel en la evolución de las propiedades biológicas (actividad y biomasa microbiana), principales indicadores de la calidad del mismo, en un suelo de ladera del corregimiento de Pavas, Municipio de La Cumbre, Valle del Cauca, afectado por erosión hídrica en su forma más extrema (cárcava).

3. Objetivos

3.1.General

Evaluar la evolución de la actividad y biomasa microbiana de un suelo afectado por erosión hídrica, mediante la incorporación de enmiendas orgánicas en la zona de ladera del corregimiento de Pavas, La Cumbre, Valle del Cauca.

3.2.Específicos

- ✓ Realizar la caracterización del suelo del corregimiento de Pavas.
- ✓ Establecer la tasa de respiración de la biomasa microbiana del suelo.
- ✓ Determinar los cambios en las cantidades de las Materia Orgánica, Densidad Aparente, Densidad Real y Porosidad, como propiedades que intervienen directamente en la calidad del suelo.
- ✓ Establecer si el uso de enmiendas orgánicas sobre el suelo es una buena herramienta para mejorar sus propiedades biológicas.

Capítulo 2.

Marco Teórico



*Imagen 2. Erosión Hídrica. Municipio de Restrepo, Valle del Cauca.
Fuente: (Avendaño, 2014)*

2.1. Suelo

El suelo es un cuerpo natural que comprende los líquidos, gases y sólidos (minerales y materia orgánica) que ocurren en la superficie terrestre, que ocupa un espacio que se caracteriza por poseer horizontes o capas que se distinguen del material parental inicial y que tiene la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural (*Soil Survey Staff, 2010*). El suelo es un sistema altamente complejo y dinámico; como pequeña capa que va desde unos pocos centímetros hasta unos metros de espesor puede parecer insignificante comparada con la masa del planeta, sin embargo en estos pocos centímetros se encuentra el punto de convergencia entre los reinos animal y vegetal con el mundo mineral, estableciendo entre sí una relación dinámica; esto se debe a que los vegetales obtienen del suelo el agua y los nutrientes esenciales y de estos depende la vida de los animales. El suelo a su vez sirve como reservorio de vida, debido a que en él ocurre el denominado ciclo biológico de las sustancias; esto se debe a que es ahí donde retornan los residuos vegetales y animales que son descompuestos por la numerosa población microbiana que allí vive, quienes garantizan que el ciclo continúe (*Thompson & Troeh, 1998*); es así como procesos físicos, químicos y biológicos actúan simultáneamente para mejorar o empobrecer la condición del suelo y las funciones que este desempeña en beneficio de las plantas que crecen en él.

2.1.1. Composición del suelo

Según *Dokuchaev (1883)*, citado por *Hernández et al., (2006)*, el suelo se forma por la interacción de diferentes factores, tales como el clima, el material parental, el relieve, los microorganismos y el tiempo; la comprensión del papel y la importancia de cada uno de estos factores permite identificar las características propias de cada suelo así:

La roca o material parental sufre un proceso de descomposición a lo largo de millones de años; esta descomposición puede ser química debida a la acción de ácido carbónico diluido que se forma a partir de la disolución del bióxido de carbono del aire con el agua de lluvia y por los ácidos orgánicos formados al descomponerse la materia orgánica presente en plantas y animales; o por descomposición física (erosión) causada por la acción del agua y del aire. Este proceso de transformación del material parental le otorga al suelo, según su origen, minerales y materia orgánica, fundamentales para el mantenimiento de los seres vivos (*Jaramillo, 2002*).

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se puede decir que el suelo está conformado por tres fases, fácilmente diferenciables: la fase sólida (minerales y materia orgánica), la fase líquida (agua) y la gaseosa (aire), de la organización ideal de estas en el suelo, dependen sus principales características físicas, químicas y biológicas que garantizan el abastecimiento de nutrientes a las plantas; de acuerdo con esta observación, el medio físico del suelo puede idealizarse como se muestra en la Figura 1.

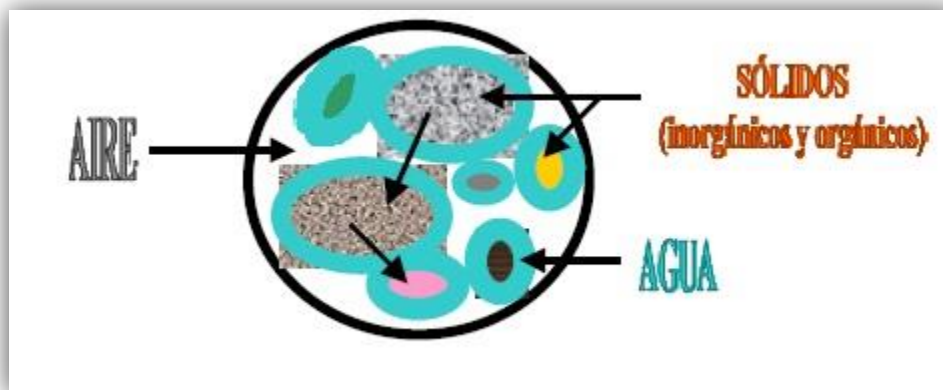


Figura 1. Composición física ideal del suelo. Fuente: (Jaramillo, 2002)

La fase sólida es el componente más abundante en los suelos, aproximadamente ocupa el 50% de su volumen. Esta fase se divide generalmente en dos grandes tipos de sólidos: los minerales (45%) y los orgánicos (5%), que se encuentran en íntima asociación. De esta fase sólida, solamente las arcillas y la materia orgánica aportan nutrientes al suelo. Las arcillas contienen nutrientes como potasio, sodio, calcio, hierro, magnesio, zinc, cobalto y las partículas orgánicas proveen la principal reserva de nitrógeno y en menor cantidad, fósforo y azufre.

La fase líquida del suelo ocupando el 25% del mismo, es el principal responsable del transporte de nutrientes de varias partes del suelo hacia las raíces y de proveer agua a las plantas. Los nutrientes transportados en la solución suelo se encuentran en forma iónica, que es la forma de absorción que tienen las raíces de las plantas.

La fase gaseosa (25%), es producto del intercambio de gases entre los numerosos organismos vivos del suelo (bacterias, raíces, hongos y animales) y la atmósfera (Arias, 2001).

2.2. Degradación del suelo

La degradación, en sentido estricto se entiende como el declive de la habilidad de los suelos para cumplir sus funciones como medio para el crecimiento de las plantas, lo que se traduce en pérdidas de la productividad biológica y económica; descenso en su papel como regulador del régimen hídrico y como filtro ambiental; todo esto a causa de procesos naturales de formación de suelo y debido a los resultados de las actividades humanas y pautas de poblamiento, tales como:

- ✓ La erosión del suelo
- ✓ Pérdida duradera de vegetación natural y/o materia orgánica del suelo
- ✓ Deterioro de las propiedades físicas, químicas, biológicas y económicas del suelo (López, 2002)

2.3. Erosión hídrica

La erosión del suelo por acción del agua es un fenómeno complejo de degradación, el cual comprende la separación, transporte y posterior depósito de los materiales componentes de los horizontes superficiales del mismo, este tipo de erosión puede ser natural o antrópica, a esta última se le denomina también erosión acelerada ya que se genera a partir de la remoción del suelo y el material vegetal debido a las actividades del hombre. La erosión hídrica es la forma de erosión más significativa de las laderas, esto debido a la intensidad y frecuencia de las lluvias, la cual se ve favorecida por las pendientes y la heterogeneidad de los suelos que en su mayoría son susceptibles a la erosión.

El proceso erosivo inicia con el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo; en el caso de un suelo intervenido por la acción del hombre, esta energía de la gota es capaz de generar una fragmentación de las partículas del suelo desprovisto de vegetación y generar así un sellamiento de la superficie del mismo, efecto que da inicio al proceso de compactación superficial que disminuye la tasa de infiltración favoreciendo la escorrentía y posterior arrastre de las partículas de suelo (*Do Prado & Da Vega, 1992*).

En resumen y teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se puede decir que en el proceso erosivo intervienen varios agentes que bien pueden actuar de forma separada o conjunta, ya sea mitigando o acelerando los efectos del mismo como lo son: la física de la precipitación, la geomorfología del terreno (pendiente y grado de inclinación), las propiedades hidrológicas del suelo, las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, la vegetación y la actividad humana (*Appleby et al., 1996*).

Ya se mencionó como la precipitación actúa en el proceso, ahora es importante comprender el papel que cada uno de los agentes desempeña en el mismo; en el caso de la morfología del suelo, la pendiente, grado de inclinación y longitud de la misma se relacionan debido a que un aumento en el grado de inclinación implica mayor velocidad del agua por la superficie del terreno que se traduce en una menor infiltración de la misma en el suelo; la longitud por su parte influye también en el volumen de agua y suelo transportado, aumentando así su poder erosivo a medida que esta aumenta.

En el suelo, como actor principal de este fenómeno recae la mayor importancia, ya que este mediante su estabilidad, textura, estructura, densidad y calidad de componentes químicos, minerales y biológicos, como lo son la actividad y biomasa microbiana, determinan su grado de susceptibilidad a la erosión; es así como en suelos arenosos, el flujo laminar es un proceso muy efectivo para lograr erosión, en cambio, en suelos cohesivos resistentes a la erosión por flujo laminar, esta se manifiesta en surcos y cárcavas (*Appleby et al., 1996*); en suelos con deficiente actividad microbiana se genera una lenta descomposición de residuos vegetales que implican una

menor estabilidad de agregados, disminuyendo la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua dentro del mismo.

La vegetación es uno de los factores que adquiere gran importancia a la hora de comprender el proceso de erosión en los suelos, ya que la eliminación de la cubierta vegetal desempeña una función esencial, desencadenante de los procesos de degradación física, química y biológica del suelo, fragilizándolo ante la erosión (López, 2002).

2.3.1. Tipos de erosión

La energía disipada por la acción de la gota de lluvia sobre el suelo al momento del impacto es considerable, sus efectos en particular son muy importantes cuando esta acción se lleva a cabo en suelos desnudos o desprovistos de vegetación y en zona de ladera, en estos ambientes se producen las mayores tasas de erosión, esto debido a que las gotas producen un transporte de partículas por salpicadura y la acción de las escorrentías ladera abajo, dejando ver en el suelo las marcas de este impacto, como lo son la presencia de pequeños arroyuelos en la superficie hasta la formación de grandes surcos favorecedores de un incremento de pérdida de suelo.

I. Erosión laminar

Este es el primer signo de erosión presente en el suelo, se caracteriza por producirse una remoción uniforme del horizonte superficial del suelo, en el cual se presenta un arrastre imperceptible de las partículas finas del suelo por láminas de agua o redes de surcos muy pequeños.

II. Erosión en surcos

Si la precipitación aumenta y esta se concentra, se producen en el suelo, pequeñas incisiones sobre el suelo que producen surcos de tamaños centimétricos a causa de la erosión.

III. Erosión en cárcavas

De acuerdo con Osterkamp, (2008), citado en Gómez, et al., (2011); este tipo de erosión de suelo consiste en vaciado de las partículas del suelo a causa de un flujo concentrado que origina estrechas secciones en la superficie del suelo que genera una acelerada pérdida de suelo, que favorece el lavado de nutrientes, disminuyendo el estado de fertilidad y aflorando el subsuelo; una particularidad de este tipo de erosión; es que estas transportan agua sólo e inmediatamente después de las fuertes precipitaciones que da lugar a estrechas secciones, de mayor tamaño y profundidad que un reguero.

Las cárcavas son zanjas presentes en los terrenos, que siguen la pendiente máxima del mismo; y como producto de la erosión constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias, arrastrando consigo una gran cantidad de partículas de suelo. Las

cárcavas inician como pequeños surcos formados por el arrastre superficial del agua sobre el suelo; a medida que aumenta el escurrimiento se forman pequeños canales que van creciendo en ancho y profundidad hasta formar secciones transversales de diferentes formas que se agrandan con la presencia de avenidas máximas. Consecuentemente, las cárcavas se originan por la concentración de los escurrimientos superficiales en determinados puntos críticos del terreno. Su presencia en un terreno indica un grado avanzado de degradación (*Martínez, et al., 2009*).

2.4. Materia Orgánica del Suelo (MO).

La materia orgánica del suelo está constituida principalmente por los restos vegetales, animales y la biomasa; aunque su composición es muy variada, estos en su mayoría contienen muchos compuestos de carbono y según su origen varía la intensidad de los procesos que contribuyen a su descomposición (*Fuentes, 2007*). La materia orgánica del suelo de origen vegetal contiene también proteínas, ácidos orgánicos, lignina, grasas y otros componentes nitrogenados; el nitrógeno se acumula debido a que es un componente importante en las células microbianas y es un elemento que se recicla muchas veces con el rejuvenecimiento de las células; además las partículas de materia orgánica tienen la particularidad de almacenar gran cantidad de agua y atraer hasta cuatro veces más nutrientes que los minerales de arcilla.

El contenido de materia orgánica en el suelo varía de un lugar a otro, esto se debe a que el tipo de vegetación, la naturaleza de la población microbiológica del suelo, el tipo de drenaje, la precipitación, la temperatura y el manejo desde el punto de vista agrícola afectan el tipo y la cantidad de materia orgánica que se encuentre (*De las Salas, 1979*); así mismo estos factores unidos a la textura, el pH y la estructura del suelo, inciden en la velocidad de descomposición de la misma, es por esto que el porcentaje de mineralización es muy variable y va desde casi nulo en condiciones adversas hasta el 3 o 4% en casos muy favorables. Debido a su acción cementante, incrementa la agregación de las partículas sólidas mejorando la estabilidad estructural, lo cual trae como consecuencias:

- ✓ Reducción de la densidad aparente y de la densidad de sólidos.
- ✓ Incremento en la porosidad total del suelo.
- ✓ Incremento en la aireación del suelo. Los residuos de raíces al ser descompuestas dejan espacios entre las partículas sólidas, lo que facilita la penetración del agua y del aire.
- ✓ Cambios en la capacidad de retención de humedad; generalmente se incrementa la humedad disponible para las plantas y se mejora la eficiencia en el uso del agua.
- ✓ Se modifica la velocidad de infiltración del agua al suelo y la conductividad hidráulica.
- ✓ Disminuye la conductividad térmica del suelo, haciéndolo más resistente a los cambios bruscos de temperatura.

- ✓ Disminuye la resistencia del suelo a la penetración de raíces y al crecimiento de órganos vegetales subterráneos (Narro, 2004).

El contenido de materia orgánica es mayor en el horizonte superficial (Horizonte A) y decrece en el interior del suelo al aumentar la profundidad en el perfil, debido a la disminución de la cantidad de sustrato (alimento microbiano). Se acepta que hay una relación general directa entre el contenido de materia orgánica del suelo y la altitud: **a > altitud > acumulación de materia orgánica**. Este comportamiento está relacionado con el hecho de que al aumentar la altitud se reduce la temperatura, lo que ocasiona una disminución en la tasa de descomposición de aquella, produciéndose su acumulación (Sagardoy & Mandolesi, 2004); según lo anterior, en Colombia, los contenidos de materia orgánica más bajos se pueden presentar en los suelos de la media y alta Guajira, en buena parte Aridisoles y los más altos en los Andisoles de los pisos climáticos fríos.

2.4.1. Importancia de la materia orgánica en el suelo

Como se mencionó anteriormente, la materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentes en el suelo. A los organismos presentes en el suelo, es decir, a la flora y la fauna, se les denomina Edafón. Los restos postmortem de vegetales y animales que, depositados en el suelo, son constantemente sometidos a procesos de descomposición, transformación y resíntesis; forman parte del humus (Alzate & Campiño, 2014).

La materia orgánica es un componente de primer orden en el mantenimiento de la biología para la liberación de nutrientes, para mejorar la textura y estructura del suelo, aumentar el poder de retención de agua, incrementar la capacidad de intercambio catiónico, para el control de plagas y enfermedades, para evitar carencias de microelementos, evitar o disminuir la erosión y para hacer solubles ciertos minerales (Fuentes, 2007).

2.4.2. Importancia de la materia orgánica en las propiedades físicas del suelo

Como se mencionó anteriormente, la materia orgánica de origen vegetal tiene una acción cementante en el suelo, esto debido a que su descomposición forma un tipo de materia orgánica más estable llamado Humus, cuyo efecto sobre las propiedades físicas del suelo forma agregados estables al unirse con las arcillas y formando el complejo de cambio que le da estabilidad al suelo, favoreciendo con esto la infiltración y retención del agua, además aumenta el intercambio gaseoso y más importante aún para este estudio, la formación de estos agregados junto a la presencia de materia orgánica fresca en la superficie del suelo, disipa la energía de las gotas de lluvia al chocar con la hojarasca que sirve a su vez para disminuir la velocidad del agua de escorrentía al aumentar la rugosidad sobre el suelo (Almorox et al., 2012).

2.4.3. Importancia de la materia orgánica en las propiedades químicas del suelo

Las partículas coloidales de la materia orgánica vegetal al estar cargadas negativamente atraen iones cargados positivamente hacia su superficie. La capacidad de retención de nutrientes de la materia orgánica es hasta cuatro veces mayor a la de las arcillas al poseer una gran capacidad de intercambio catiónico se considera como un importante centro de almacenamiento de nutrientes, por eso juega un papel directo en la fertilidad del suelo al liberar nutrientes en el proceso de mineralización y además aumenta la capacidad tampón del suelo (*De las Salas, 1979*).

La importancia de la macro y meso fauna del suelo radica en el aumento en la disponibilidad de algunos nutrientes para las plantas como lo reporta *IGAC (1986)* citado por *Jaramillo, (2002)*, con lo cual se mejora el aporte de biomasa:

- ✓ La lombriz incrementa la disponibilidad de P, K y C
- ✓ Las hormigas mejoran la disponibilidad de Ca y Mg
- ✓ Las termitas aumentan la disponibilidad de Ca, Mg, K, Na, C y P

2.4.4. Importancia de la materia orgánica en las propiedades biológicas del suelo

La biología tiene un rol fundamental en la composición del suelo y sus características; los organismos del suelo descomponen la materia orgánica proveniente de restos vegetales y animales, liberando a su vez nutrientes que son asimilados por las plantas; los organismos que se encuentran en el suelo almacenan los nutrientes impidiendo así su pérdida por lixiviación; los microorganismos del suelo mantienen la estructura, mientras las lombrices remueven el suelo. Los microorganismos presentes en el suelo crean una reserva de carbono con una rápida tasa de renovación, esto a causa de la acumulación en la superficie del suelo y en la zona radicular de la materia orgánica proveniente de la descomposición anual de los residuos orgánicos (*FAO, S.f.*)

La materia orgánica favorece los procesos de mineralización, desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado (*Graetz, 1997*). La actividad biológica del suelo se incrementa de manera significativa con la adición de materia orgánica. Lo cual, además de crear un control natural por la aparición de enemigos naturales contra algunas plagas presentes en el suelo, como son los nemátodos. Le brinda a las plantas una resistencia adicional a la invasión de diversos microorganismos y enfermedades.

2.5. Actividad Microbiana del Suelo (AMS) y Biomasa Microbiana del suelo (BMS)

2.5.1. Biota del suelo

El suelo es, la parte más diversa biológicamente de la tierra; esto dado a pesar de que los microorganismos del suelo, es decir el componente vivo del mismo, ocupa usualmente menos del 1% del volumen del mismo; ocurre que su número y eficiencia es muy alta; ellos colonizan, principalmente la materia orgánica presente en los micrositios de un suelo, mejorando la entrada y el almacenamiento de agua, la resistencia a la erosión, la nutrición de las plantas y la descomposición de la materia orgánica en él. La biodiversidad del suelo, el tamaño de las poblaciones de organismos en él y su actividad dependen de prácticas de manejo como laboreo, controles fitosanitarios y manejo de residuos de cosecha, así como de la cobertura y de la fertilidad que tenga aquel (*Sagardoy & Mandolesi, 2004*).

Los microorganismos del suelo son los organismos más importantes del mismo y aparte de suministrarle una buena cantidad de biomasa al mismo y de causar, en algunos casos, problemas fitosanitarios en los cultivos, intervienen activa y directamente en ciclos geoquímicos como los del C, N, P y S. También toman parte en una buena cantidad de procesos y reacciones que tienen que ver con la nutrición vegetal; ciertos microorganismos pueden asociarse con plantas mejorando su nutrición, como en los casos de las micorrizas y de la fijación biológica de nitrógeno; además que la producción de excretas de los mismos favorece la formación de complejos organominerales estables durante meses o periodos más largos que favorecen el mejoramiento de la estructura y otras propiedades del suelo (*Lavelle, 1996*).

Quizás lo que más afecta la población microbiana del suelo, tanto en su cantidad como en su actividad y en sus relaciones poblacionales es el cambio de la cobertura vegetal nativa por una cobertura de cultivos o de pastos. Esto puede tener relación con cambios en el microambiente edáfico provocados por las prácticas de manejo que deben implementarse para mantener aquellas actividades agropecuarias. También el laboreo y el uso intensivo de agroquímicos afectan la población de los microorganismos del suelo al disminuir los contenidos de materia orgánica en el suelo (*Moreira et al., 2012*).

2.5.2. Respiración del suelo

En términos generales, la respiración puede definirse como la oxidación biológica de la materia orgánica a CO₂. En su conjunto, los suelos del planeta contienen la mayor reserva de carbono de la biosfera, al contener alrededor de $2,1-2,3 \times 10^{12}$ Tm de Carbono Orgánico (*Batjes, 1996*). La mineralización de esta materia orgánica por los microorganismos heterótrofos rige los ciclos biogeoquímicos de los principales nutrientes, afectando con ello a la producción vegetal y a la composición de la atmósfera. La respiración de la microbiota edáfica es el eslabón fundamental

que cierra el ciclo del carbono en los ecosistemas terrestres, retornándolo a la atmósfera en forma de CO_2 . No obstante, parte del CO_2 desprendido desde el suelo proviene de otros procesos distintos a la respiración microbiana, como son los fermentativos y los procesos anaeróbicos que emplean NO_3^- o SO_4^- como aceptores de electrones (*Medina, 2012*).

La medida de la respiración basal del suelo refleja tanto la cantidad como la calidad de las fuentes de carbono o, expresado de otra forma, el carbono potencialmente mineralizable presente en el suelo. Asimismo, constituye un índice integrado del potencial de la microbiota para degradar el componente orgánico bajo condiciones ambientales específicas, reflejando la actividad global o energía gastada por la misma; este componente se ve afectado por múltiples factores externos a los ecosistemas. Generalmente, la biomasa microbiana está estrechamente correlacionada con el contenido de carbono orgánico del suelo (*Medina, 2012*).

La materia orgánica y las arcillas juegan un papel fundamental en la actividad microbiana. Las arcillas como las partículas más finas del suelo, exponen mayor área superficial por unidad de masa en comparación con las arenas y limos, factor que se relaciona directamente con las actividades que cumplen y que las convierten en uno de los constituyentes reactivos más importantes del suelo (*Burbano, 1989*). Las arcillas están encargadas de darle al suelo características químicas como son el pH, capacidad de intercambio catiónico, entre otras. Sus cualidades inciden sobre las propiedades físicas como el control de movimientos de la solución del suelo, la determinación de la magnitud de dichos movimientos en el perfil y juegan un papel fundamental en la absorción rápida de enzimas extracelulares reduciendo así la biodegradación (*Charry, 1987*).

2.5.3. Actividad Microbiana del Suelo (AMS)

La materia orgánica activa del suelo, está constituida por la microbiota edáfica que es la encargada de realizar los procesos de descomposición de los substratos orgánicos y la síntesis de sustancias que dan origen a productos metabólicos y CO_2 ; ésta representa cerca del 15% de la materia orgánica total del suelo; de tal manera, que para estimar la actividad microbiana o presencia como un indicador de la dinámica del suelo y de la salud del recurso, basta con realizar la medición del dióxido de carbono respirado por esta comunidad; se debe tener en cuenta que este valor estimado se va a ver fuertemente influenciado por factores como el uso del suelo, la cobertura vegetal, la calidad de los residuos que ingresan al sistema, la mineralogía del suelo y principalmente las prácticas de manejo, entre otros (*Mora, 2006*).

Según *Cardoso y Freitas (1988)*, citado en *Mora (2006)*; la actividad biológica en el suelo, ocurre con mayor intensidad en la región denominada Rizósfera; esto porque en aquella porción de suelo, en donde se concentran las raíces de las plantas, ocurre la influencia de muchos procesos físicos, químicos y biológicos, que entre otras, lo provee de una alta concentración de

nutrientes, favorecen la proliferación de microorganismos. Esta zona rizosférica no se encuentra bien definida ni es homogénea, según algunos autores, la mayor estimulación de los microorganismos desde la superficie de la raíz hasta el suelo se da en los primeros 2 mm. de proximidad (*Benjumea, 1998*).

Se considera que para que se pueda establecer esta interacción de los microorganismos con las raíces, que permitan generar un efecto beneficioso como el abastecimiento a las plantas con sustancias nutritivas, la síntesis de proteínas promotoras de crecimiento, la protección de las plantas ante agentes patógenos, entre otros, se deben dar mecanismos de reconocimiento que propicien la interacción y esto depende principalmente del tipo de suelo, la humedad, la materia orgánica presente y la temperatura, entre otros factores (*Duran, 2002*, citado por *Salamanca, 2008*).

La importancia de los microorganismos en ambientes naturales como el suelo, está dada por su presencia, su diversidad y principalmente por el conjunto de actividades que desarrollan beneficiando la nutrición y el crecimiento de las plantas, debido a su participación en los procesos de mineralización de sustancias orgánicas, colocando a su disposición formas minerales asimilables de nitrógeno, azufre y fósforo entre otros nutrientes que son fuentes de energía; además los microorganismos son responsables en el suelo de las modificaciones de pH, formación de agregados estables y del control de fitopatógenos del suelo, entre otros (*Fernandez & Novo, 1988; Burbano, 1989; Domez, 1997*).

2.5.4. Biomasa Microbiana del Suelo (BMS)

Se define como Biomasa Microbiana del Suelo (BMS) a la porción viva de la materia orgánica excluyendo las raíces de las plantas y los animales presentes en el suelo mayores a $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$. La BMS comprende generalmente el 2% del carbono orgánico total presente en el suelo, la microbiota actúa en el proceso de descomposición de la materia orgánica del suelo, convirtiéndola en el centro de la mayor actividad biológica del mismo y participa por tanto en el ciclo biogeoquímico de nutrientes mediando su disponibilidad en el suelo; es por esto que se considera a la biomasa microbiana del suelo como un indicador ecológico y una herramienta para la interpretación de los análisis de fertilidad del suelo, la disponibilidad de nutrientes para las plantas; al pertenecer al componente lábil de la materia orgánica; participa también, juega un papel fundamental en la formación de la estructura del suelo, así como en su estabilización y se puede usar como un indicador debido a su alta sensibilidad a los cambios ambientales y a las prácticas realizadas (*Acosta & Paolini, 2006; Balota, et al., 1998*).

En cualquier ecosistema existe una alta correlación dinámica entre la biomasa con la materia orgánica del suelo; esto puesto que todo el material orgánico incorporado al suelo debe ser convertido por la biomasa microbiana, garantizando así el sostenimiento de la productividad del

mismo, al establecer el medio de transformación para todos los materiales orgánicos del suelo, siendo independiente de la función que cada uno de los grupos de microorganismos presentes cumple; su estimación garantiza por tanto el conocimiento de la resistencia que ofrecen los microorganismos en las plantas a la agresión por patógenos (*Burbano, 2002 y Primavesi, 1984; citados en Salamanca, 2008*).

I. Dinámica de la biomasa microbiana del suelo

Cuando se habla de la biomasa microbiana del suelo, pueden ser exploradas dos diferentes situaciones: en el primero; la materia orgánica del suelo es considerada relativamente constante en el tiempo, debido a que sus cambios son muy lentos y requieren muchos años para medir estos cambios de forma natural; sin embargo su cantidad se ve seriamente afectada cuando esta materia orgánica se pierde a causa de algún fenómeno externo; mientras que el carbono y otros nutrientes simplemente fluyen a través de esta. La transformación de estos nutrientes por parte de la biomasa se lleva a cabo, debido a que estos ingresan al sistema como formas orgánicas complejas y lo dejan como dióxido de carbono o formas mineralizadas de los elementos después de la descomposición de los residuos vegetales (*Jenkinson & Ladd, 1981*).

El segundo caso se refiere a la adición de un sustrato de suelo que estimula el crecimiento de la biomasa microbiana y el destino de los nutrientes en el material orgánico puede resultar en su liberación a la forma mineral o incorporándose en el pool lábil de nutrientes en expansión (*Jenkinson & Ladd, 1981*); la cantidad de estos nutrientes en el suelo varan entre otros por el contenido de materia orgánica, la porosidad del suelo, los contenidos de humedad, la profundidad de los horizontes y también los factores medio-ambientales (*Benjumea, 1998; citado en Salamanca, 2008*).

2.6. Coeficiente Metabólico del Suelo (CMS)

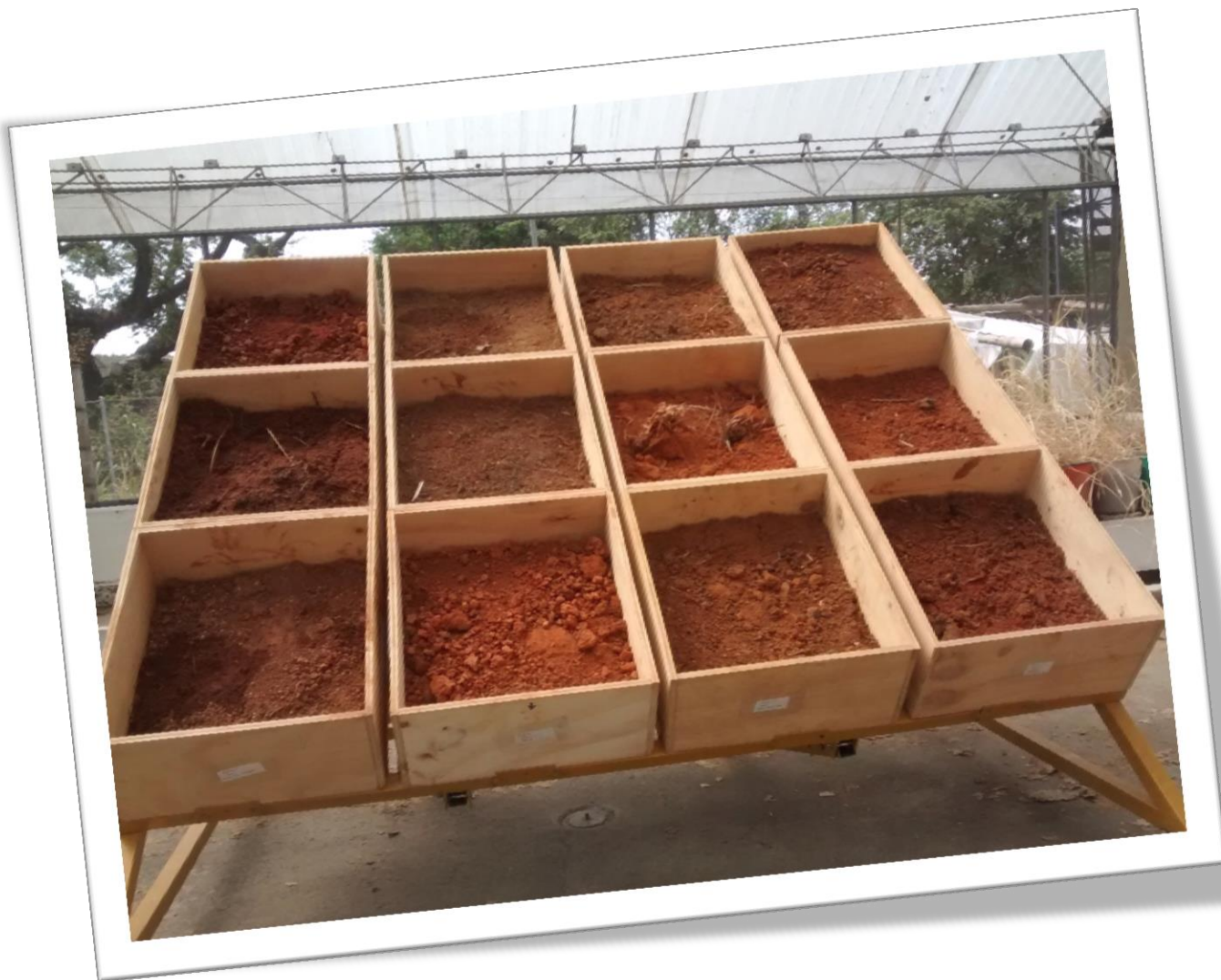
Este coeficiente indica el gasto de carbono que se obtiene de la mineralización de un sustrato; en este caso de la materia orgánica por parte de los microorganismos en una unidad de tiempo, por unidad de producción de moléculas complejas a partir por la Biomasa Microbiana (*Bolaños, 2006; citado por Salamanca, 2008*).

Este coeficiente se determina al relacionar los datos obtenidos de la AMS, el número de horas de incubación y la BMS, mediante la siguiente ecuación:

$$QMCO_2 = \frac{\text{Actividad Microbiana}}{\frac{\text{horas de incubación}}{\text{Biomasa Microbiana}}}$$

Figura 2. Ecuación Coeficiente metabólico del suelo. Fuente: (Salamanca, 2008).

Capítulo 3. Metodología



*Imagen 3. Montaje experimental en laboratorio.
Fuente: (Autor, 2014)*

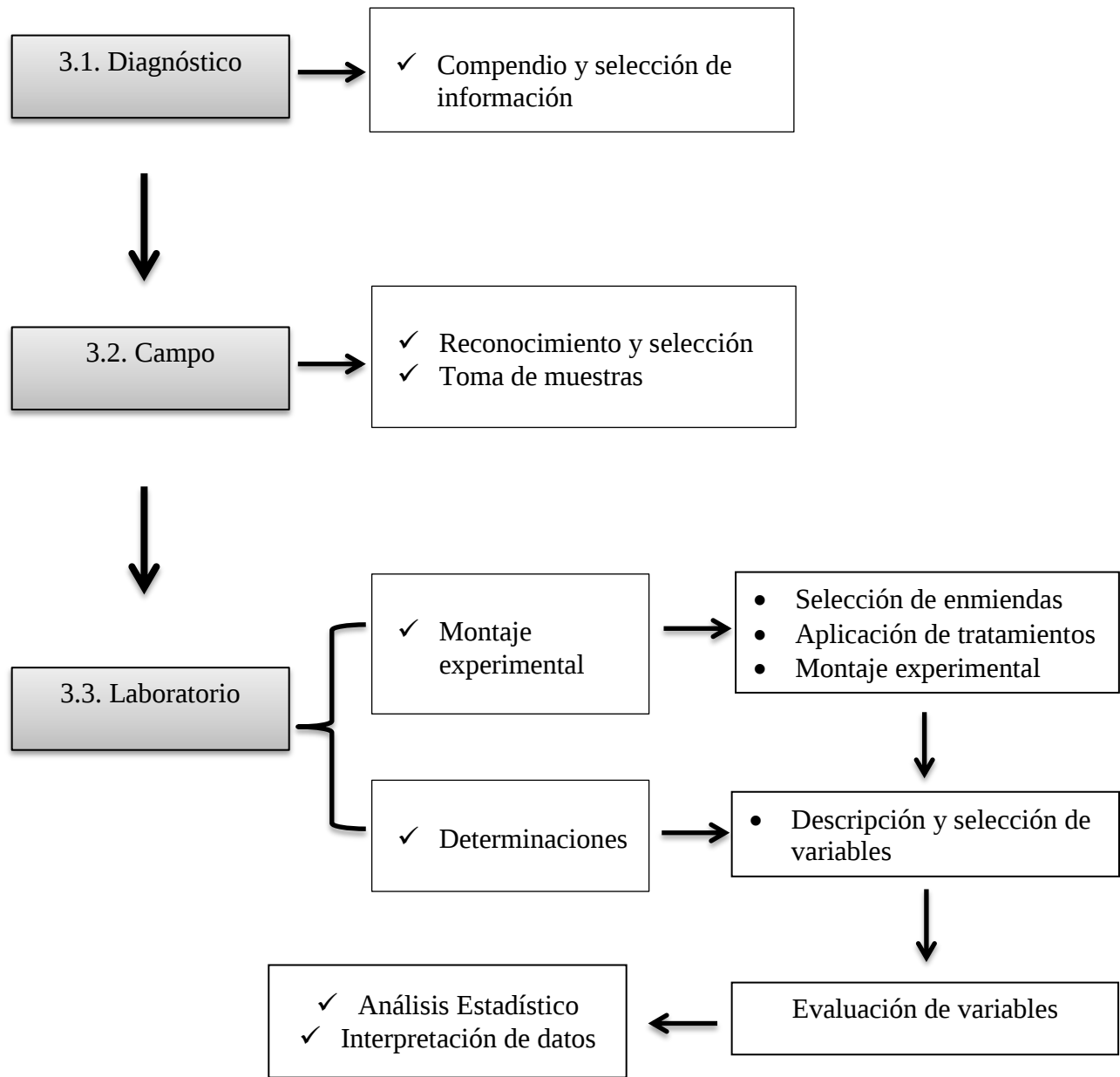


Figura 3. Esquema Metodológico del proyecto.

Fuente: (Autor, 2014)

3.1. Diagnóstico

Compendio y selección de información

3.1.1. Ubicación Geográfica de la zona de estudio

El proyecto fue realizado con suelo proveniente del corregimiento de Pavas, Municipio de La Cumbre, departamento del Valle, Colombia, localizado a los 3° 39' 11" de latitud norte y a los 76° 34' 04" de longitud oeste meridiano de Greenwich. El municipio se encuentra ubicado en el Noroccidente del departamento a 29 km de la ciudad de Cali, Capital del Departamento, en la vertiente Occidental de la Cordillera Occidental; limita al Norte con el municipio de Restrepo, al Sur con los municipios de Yumbo, Dagua y Cali, al Oriente con los municipios de Yumbo y Vijes, al Occidente con el municipio de Dagua.

3.1.2. Levantamiento de suelo

La Tabla 1, muestra en resumen las características del suelo del Corregimiento de Pavas, según la clasificación de Suelos del Valle del Cauca, realizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) realizada en el año 2004, los suelos de Pavas corresponden al orden *Typic Dystrudepts-Typic Hapludands*, que se han originado a partir de depósitos superficiales clásticos no consolidados de ceniza volcánica y depositado sobre rocas ígneas volcánicas máficas, afaníticas y porfiríticas de diabasas. Son suelos que poseen texturas medias a moderadamente finas, estructuras en bloques subangulares en los horizontes A y b; químicamente son altos en capacidad catiónica, bajos en bases totales y en saturación de bases, altos en carbono orgánico, bajos en fósforo y potasio y moderada fertilidad, sus principales limitantes de uso y manejo son las fuertes pendientes y presencia de erosión.

Tabla 1. Levantamiento de suelo y zonificación de tierras del área de estudio.

Fuente: (IGAC, 2004)

<i>Clasificación general</i>				
<i>Paisaje</i>	<i>Clima</i>	<i>Tipo de relieve</i>	<i>Material parental</i>	<i>Unidad cartográfica</i>
Montaña Fluvio - Gravitacional	Medio - Húmedo	Filas - Vigas	Depósitos superficiales clásticos, piroclásticos no consolidados (ceniza volcánica) y rocas ígneas volcánicas máficas, afaníticas y porfiríticas (diabasa)	Asociación Typic Dystrudepts-Typic Hapludands
<i>Capacidad de uso de las tierras</i>				
<i>Unidad de capacidad</i>	<i>Símbolo cartográfico</i>	<i>Factores limitantes de uso y manejo</i>	<i>Recomendaciones de uso</i>	<i>Prácticas de manejo</i>
VIIp-4	MQAf1	Pendientes del 25 - 75% Alta saturación de aluminio Erosión moderada Profundidad efectiva muy superficial Afloramientos rocosos y fuertes vientos	Conservación del bosque natural	Implementar prácticas de conservación y manejo de suelo recuperación de áreas degradadas con reforestación y obras biomecánicas Mantener cobertura vegetal e implementar regeneración natural Evitar el sobrepastoreo y sobre carga de ganado

3.2. Campo

La fase de campo contó con dos momentos: el primero de reconocimiento y selección de la zona y el segundo de toma de muestras:

3.2.1. Reconocimiento y selección

En la fase de reconocimiento se realizaron visitas a la zona con el fin de identificar los predios con mayor grado de afectación por erosión, que cumplieran con los requerimientos del proyecto como la accesibilidad, seguridad y que contara con los permisos necesarios para la intervención; es así como se seleccionó un predio ubicado en la zona alta del Corregimiento de Pavas, de aproximadamente 2 hectáreas (Has), que poseía todos los grados de erosión, desde laminar hasta cárcava (Anexo 1).

Una vez identificada el área de estudio, se seleccionó la zona que presentara el mayor grado de afectación en este caso la Afectación de Erosión por Cárcava (Tabla 2), para lo cual se consideró el grado de amenaza que podría representar sobre las viviendas ubicadas en la zona baja de la misma (Ver Anexo 2).

Tabla 2. Principales características de la zona elegida. Fuente: (Autor, 2014)

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
Área de la Cárcava	242 m ²
Pendientes de la Cárcava	40-60%

3.2.2. Selección de enmiendas

La selección de enmiendas a aplicar se realizó teniendo en cuenta los requerimientos iniciales del suelo y la necesidad de la implementación de las enmiendas efectuadas para el proyecto de Doctorado de la Ingeniera Diana María Delgado, denominado “Recuperación de Suelos con erosión hídrica en zonas de ladera del Valle del Cauca por medio de valorización de enmiendas órgano-minerales”.

Las características químicas de las enmiendas utilizadas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Características de las enmiendas utilizadas. Fuente: (Autor, 2014)

Enmienda	Materia orgánica total (%)	Humedad (%)	Boro (ppm)	Dosis (kg/ha)
Bufalaza	42	29,4	0,3	3000
Lombricompuesto	32	25,9	0,2	3000
Mineral (Sulfato de Amonio y Fosfato Diamonico)	-	-	-	900

3.2.3. Toma de Muestras

Para la toma de muestras se dividió la zona afectada (Cárcava) en tres subzonas (Alta, media y Baja), que se encontraran dentro del rango de pendientes mostradas en la Tabla 2, a fin de garantizar con esto la uniformidad de pendientes de todas la unidades muestrales para el posterior tratamiento en laboratorio (Figura 4a).

Una vez escogidas las parcelas, se llevó a cabo la aplicación de las enmiendas en campo (Tabla 3) y la recolección de las muestras se realizó ocho días después.

Cada unidad experimental consistió en una muestra inalterada de suelo, tomada completamente al azar dentro del área de cada zona de la cárcava, con dimensiones de 0,34 m de largo, 0,30m de ancho y 0,1m de profundidad; para obtener esta muestra inalterada fue necesaria la construcción de un muestreador de acero el cual permitiera conservar las características del suelo al momento de su extracción. Las dimensiones del muestreador construido son: 0,4 m de largo, 0,35m de ancho y 0,15m de profundidad (Figura 4b).

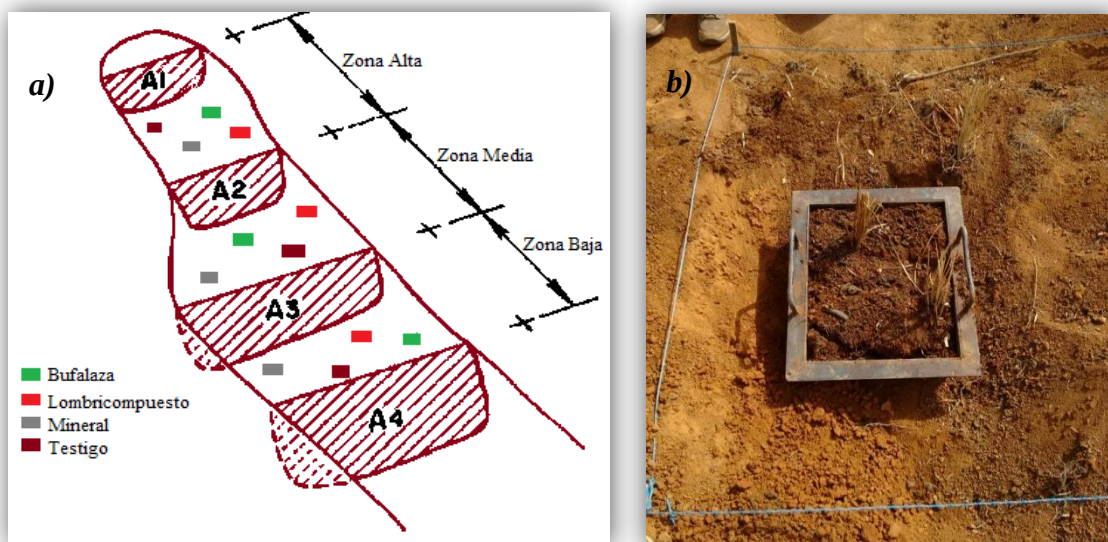


Figura 4. a) Esquema de toma de muestras en la cárcava. Fuente: Adaptado de FAO (1997)
b) Toma de muestra en campo. Fuente: (Autor, 2014)

3.3. Laboratorio

El trabajo en laboratorio se dividió en dos espacios; el primero en donde se dispusieron los bloques de suelo que fueron sometidos a los tratamientos y en el segundo espacio se encontraba los insumos necesarios para la determinación de los análisis físicos, químicos y biológicos.

3.3.1. Montaje experimental

El montaje del experimento se llevó a cabo bajo condiciones de casa de malla de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Valle del Cauca; ubicado a una altura de 1050 metros sobre el nivel del mar; en el interior de las casas la humedad relativa promedio fue de 56% y la temperatura promedio de 32° C.

Se empleó un diseño experimental de todas las unidades muestrales completamente al azar. Se establecieron tres tratamientos y un testigo, con tres repeticiones cada uno, para un total de 12 unidades experimentales que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Descripción de los tratamientos y nombres de las variables. Fuente: (Autor, 2014)

Tratamiento	Especificación del tratamiento
A-B	Bufalaza aplicada en la zona alta
A-TL	Lombricompuesto aplicado en la zona alta
A-TM	Enmienda Mineral aplicado en la zona alta
A-T	Suelo sin tratamiento de la zona alta (Testigo)
M-B	Bufalaza aplicada en la zona media
M-TL	Lombricompuesto aplicado en la zona media
M-TM	Enmienda Mineral aplicado en la zona media
M-T	Suelo sin tratamiento de la zona media (Testigo)
B-B	Bufalaza aplicada en la zona baja
B-TL	Lombricompuesto aplicado en la zona baja
B-TM	Enmienda Mineral aplicado en la zona baja
B-T	Suelo sin tratamiento de la zona baja (Testigo)

Estas doce unidades muestrales (Tabla 4), estuvieron sometidas a los tratamientos por un periodo de tiempo de cuatro meses, en los cuales se controló la pendiente y la vegetación utilizada como cobertura (*Arachis pintoii*), a fin retener las partículas de suelo y de garantizar la descomposición de la materia orgánica por parte de la actividad microbiana, de todas la unidades muestrales bajo las mismas condiciones al hacerlas constante para todos los tratamientos.

Para el montaje del experimento fue necesaria la elaboración de una estructura que fue diseñada especialmente para el proyecto de doctorado anteriormente mencionado, que permite simular las condiciones de pendiente del campo en el laboratorio; en la cual se dispusieron los bloques con los tratamientos establecidos de acuerdo a las enmiendas utilizadas (Figura 5). La estructura permitió establecer las doce unidades muestrales que fueron sometidas a la pendiente crítica del 60%). (Anexo 3)



Figura 5. Estructura para el montaje de muestras. Diseño: (Jaramillo, 2014)

3.3.2. Determinaciones

I. Selección de variables

Con el objetivo de relacionar la Actividad y Biomasa Microbiana del suelo como un componente esencial en la calidad del suelo, se evaluaron propiedades tanto químicas como físicas que permitieron explicar dicha actividad en presencia de estos cofactores, estas variables y los métodos utilizados se resumen en la tabla 5.

Tabla 5. Variables respuesta y métodos utilizados. Fuente: (Autor, 2014)

PROPIEDADES BIOLÓGICAS			
PROPIEDAD	MÉTODO	UNIDAD	PROPUESTO
Actividad microbiana del suelo (AMS)	Respirometría	$\mu\text{gCO}_2/\text{gss}$	Anderson, 1982 citado por (Sanclemente, 2008)
Biomasa Microbiana	Método fumigación – extracción	$\mu\text{gC}/\text{gss}$	Vance <i>et al.</i> , 1983, citado por (Sanclemente, 2008)
PROPIEDADES QUÍMICAS			
PROPIEDAD	MÉTODO	UNIDAD	PROPUESTO
Materia Orgánica	Espectrometría (Walkley and Black)	%	(IGAC, 2006)
Humedad del suelo	Gravimétrico	%	(IGAC, 2006)
PROPIEDADES FÍSICAS			
PROPIEDAD	MÉTODO	UNIDAD	PROPUESTO
Densidad Aparente (Da)	Cilindro biselado	g/cm^3	(IGAC, 2006)
Densidad Real (Dr)	Picnómetro	g/cm^3	(IGAC, 2006)
Porosidad	Relación Da y Dr	%	(IGAC, 2006)
Textura	Bouyoucos	(%)	(IGAC, 2006)

II. Las determinaciones y descripción de variables

Las determinaciones tanto biológicas como químicas y físicas se llevaron a cabo en las Instalaciones de los Laboratorios de Suelos, área Química y Física de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira y el Laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas (LASA) de la Universidad del Valle.

Para el análisis de las variables físicas y químicas analizadas (Tabla 5), fue necesario determinar sus principales características, relaciones y rangos de interpretación, los cuales se presentan a continuación:

✓ **Materia Orgánica (MO)**

La materia orgánica del suelo está formada por sustancias húmicas, animales y plantas muertos. Contiene carbono, oxígeno e hidrógeno, y además varios elementos inorgánicos como nitrógeno, fósforo y potasio. Esta, puede almacenar gran cantidad de agua y atraer hasta diez veces más nutrientes que los minerales de arcillas. La tasa de descomposición de la materia orgánica es alta en suelos tropicales y subtropicales debido a las altas temperaturas, y frecuentemente es difícil mantener niveles elevados de materia orgánica en el suelo (Narro, 2004).

El contenido de materia orgánica en el suelo se mide de acuerdo al grado de fertilidad (Tabla 6) y a las condiciones climáticas (Tabla 7).

Tabla 6. Porcentajes de Materia orgánica deseables según el grado de fertilidad del suelo.

Fuente: (Pardo et al., 2004)

MO (%)	Grado de fertilidad
2	Zonas áridas
5	Valles fértiles

Tabla 7. Clasificación de la materia orgánica de acuerdo al clima. Fuente: (Pardo, et al., 2004)

Clima	Materia Orgánica (%)		
	Bajo	Medio	Alto
Frio	< 5	5 – 10	> 10
Templado	< 3	3 – 5	> 5
Cálido	< 2	2 – 3	> 3

✓ **Reacción del suelo (pH)**

El pH se refiere a las reacciones de acidez y basicidad del medio edáfico, las cuales influyen en sus características físicas y químicas y en el comportamiento de la biota del suelo. El pH determina la cantidad de iones hidronio (H^+) presentes en la solución del suelo; esta es una de las propiedades químicas más importantes en el suelo porque regula la disponibilidad de nutrientes para las plantas, la actividad biológica y las reacciones bioquímicas como mineralización de la materia orgánica (Martínez, 2004), su clasificación se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Clasificación del pH, según su rango. Fuente: (Martínez, 2004)

<i>pH</i>	<i>Calificación del Rango</i>
< 4,5	Extremadamente ácido
4,6 – 5	Muy fuertemente ácido
5,1- 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6	Medianamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Ligeramente alcalino
7,9 – 8,4	Medianamente alcalino
8,5 – 9	Fuertemente alcalino
> 9	Extremadamente alcalino

✓ Textura del suelo (T)

La textura es una característica que establece las cantidades relativas de las fracciones, arenas, limos y arcillas presentes en el suelo. Según predomine una u otra fracción, el suelo presentará características muy diferentes que influirán en su aireación, permeabilidad, retención de humedad, volumen explorado por las raíces, en el intercambio catiónico y en la aptitud de uso y manejo. El objetivo de su análisis es determinar la distribución de tamaño de las partículas del suelo y establecer con esto su clase textural (Martínez, 2004).

La tabla 9 presenta la clasificación de la textura del suelo, de acuerdo con el porcentaje del tamaño de las partículas presentes en el mismo.

Tabla 9. Clasificación de la clase textural dependiendo de la variación de los contenidos de arenas, limos y arcillas. Fuente: (Jaramillo, 2002)

<i>Clase Textural</i>	<i>Rango en el contenido de (%)</i>		
	<i>Arena</i>	<i>Limo</i>	<i>Arcilla</i>
Arenosa	100- 85	15-0	10-0
Arenosa franca	90-70	30-0	15-0
Franco arenosa	85-43	50-0	20-0
Franca	52-23	50-32	27-7
Franco limosa	50-0	87-50	27-0
Limosa	20-0	100-80	12-0
Franco arcillo arenosa	80-45	28-0	35-20
Franco arcillosa	45-20	53-15	40-27
Franco arcillo limosa	20-0	73-40	40-27
Arcillo arenosa	67-45	20-0	55-35
Arcillo limosa	20-0	60-40	60-40
Arcillosa	45-0	40-0	100-40

Densidad del suelo.

La densidad del suelo está definida sobre la base de la relación peso/volumen de sus componentes; en los suelos es posible estimar dos densidades, las cuales son:

✓ Densidad Aparente (Da).

La densidad aparente hace referencia a la relación de la masa por volumen del suelo, teniendo en cuenta la parte sólida y los espacios porosos del mismo (Martínez, 2004). La densidad aparente es un estimador del grado de compactación del suelo, ya que mide la masa de partículas por unidad de volumen aparente del suelo, cuyo valor asciende a medida que el problema de compactación se vuelva más crítico y disminuye a medida que aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo (Jaramillo, 2002). Su clasificación se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores máximos de D_a en el suelo, de acuerdo a su textura.

Fuente: (Jaramillo, 2002)

D_a (g/cm ³)	Características del suelo
1,3	Texturas Finas
1,4	Texturas Medias
1,6	Texturas Gruesas

✓ Densidad Real (D_r).

La densidad real es el resultado de la relación existente entre el peso y el volumen de las partículas sólidas sin tener en cuenta los espacios vacíos, es decir, depende únicamente de la composición mineral del suelo y del contenido de algunos sólidos especiales en él, como la materia orgánica y los óxidos de hierro (Martínez, (2004) & Jaramillo, (2002)). Su clasificación se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores máximos de D_r en el suelo, de acuerdo a su composición.

Fuente: (Martínez, 2004)

D_r (g/cm ³)	Características del suelo
2,65	Arcillosos o Arenosos con poco contenido de materia orgánica
2,7	Abundantes contenidos de hierro

✓ Porosidad (P_o)

La porosidad equivale a la suma de la porosidad capilar (retención de humedad) y la no capilar (relacionada con la aireación y el intercambio gaseoso); se calcula a partir de la relación entre la densidad aparente y real (Martínez, 2004). La distribución del espacio poroso depende de la composición y arreglo de la fracción sólida, es decir, de la textura, del contenido de materia orgánica y de la estructura, definiéndose dos tipos de espacios porosos: macroporos o porosidad estructural el cual es responsable de la circulación del agua, sobre todo cuando está en exceso, y del aire en el suelo. En tanto, los microporos o porosidad textural, se encargan de almacenar agua dentro del mismo (Jaramillo, 2002). Su clasificación se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Clasificación de la porosidad total del suelo.
Fuente: Kaurichev,(1984), tomado de (Jaramillo, 2002)

<i>Po (%)</i>	<i>Clasificación</i>
>70	Excesiva
55-70	Excelente
50-55	Satisfactoria
40-50	Baja
<40	Muy baja

✓ Humedad del suelo (H)

La cantidad de agua que posee el suelo es una de sus características más específica y está determinada fundamentalmente por su textura, contenido de materia orgánica, la composición de sus fracciones minales y orgánica y el aporte que se le haga, ya sea de forma natural, por, medio de la precipitación o artificialmente por el riego. Su clasificación se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Porcentajes de retención de humedad para diferentes suelos, según la textura.
Fuente: (Pernett, 2006)

<i>Clase textural</i>	<i>% retención de humedad</i>	
	<i>a 0,3 bar</i>	<i>a 15 bar</i>
Arenosa	5 – 15	2 – 10
Franco arenosa	12 – 32	5 – 18
Franca	18 – 50	10 – 30
Franco arcillosa	20 – 40	12 – 35
Arcillosa	25 – 75	15 – 45

3.3.3. Análisis estadístico

Se realizó un diseño por bloques, a fin de agrupar las unidades experimentales en distintos conjuntos de observaciones homogéneas, esta selección de bloques fue sesgada debido a al rango de pendientes. Dentro de cada bloque se realizaron parcelas de 1x1m, las cuales fueron sorteadas a fin de encontrar las posiciones y el orden de las unidades muestrales para la aplicación de los tratamientos (Bufalaza, Lombricompuesto, Mineral y Testigo) teniendo en cuenta las técnicas de aleatorización a fin de garantizar que cada uno de los tratamientos estuviera representado de la misma manera dentro de los bloques.

Para el análisis se utilizó, una vez verificados, corregidos y cumplidos los supuestos, la herramienta estadística Minitab 15 en la cual se realizó un análisis de varianza ANOVA de dos factores a fin de probar la hipótesis de que las medias aritméticas de más de 2 grupos poblacionales son iguales, esto por medio de Valor F, una vez verificada las hipótesis de los bloques y los tratamientos, se procede a realizar una prueba de igualdad de varianzas, para conocer por medio del Valor " $P < 0,005$ " de Barlett si se rechaza o se acepta la hipótesis de la semejanza de varianzas. Cuando se encuentran diferencias significativas entre la variabilidad de los tratamientos dentro de los grupos se realiza el análisis de los mismos respecto al testigo por medio del análisis de varianza simultaneo de Dunnett, quien usando intervalos permite observar cuales tratamientos aceptan la hipótesis nula (rango de valores que no contenga el valor cero (0)) y finalmente para conocer la relación entre cada uno de los tratamientos se lleva a cabo una prueba POSANOVA (Prueba Tukey), el cual compara de dos en dos los tratamientos de acuerdo a sus medias e indica cales tratamientos tienen semejanza entre si y cuáles no, con un nivel de confianza del 95%.

Capítulo 4.

Resultados y análisis



Imagen 4. Determinación de Actividad microbiana en Laboratorio.

Fuente: (Autor, 2014)

4.1. Caracterización inicial del suelo

De acuerdo con las observaciones realizadas se campo se puede notar la presencia de una Cárcava, originada por una erosión hídrica la cual muestra pérdida de sus horizontes superficiales y evidencia un alto grado de remoción de suelo a causa de la acción del agua. A fin de conocer las características iniciales se realizó un análisis químico de las variables.

En el análisis inicial realizado a las variables del suelo de la zona de estudio; se obtuvo en promedio la misma clase textural Arcillosa (Tabla 10), en cada una de las tres zonas de la cárcava; este resultado fue acorde a lo propuesto por el levantamiento de suelos realizado por el IGAC en el año 2004, en el cual define que los suelos Inceptisol, con fuertes pendientes y presencia de erosión poseen texturas finas y un grado de acidez de mediano a ligero (Tabla 8).

Tabla 14. Caracterización inicial del suelo. Fuente: (Autor, 2014)

<i>Variable</i>	<i>Zona Alta</i>	<i>Zona Media</i>	<i>Zona Baja</i>
Textura	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa
pH (relación 1:1)	6,1	5,8	5,9
Materia Orgánica (%)	0,99	0,36	0,82
Potasio intercambiable (meq/100g)	0,28	0,06	0,21
Fosforo asimilable (ppm)	3,85	2,23	1,14
Hierro (ppm)	32,66	42,07	40,52
Calcio intercambiable (meq/100g)	3,67	1,24	3,77
Actividad Microbiana (ugC-CO ₂ /gss)	44,21	44,21	113,68
Biomasa Microbiana (ugC/gss)	47,88	51,11	36,38

4.2. Materia Orgánica (MO)

La materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo (*Fassbender, 1984*). De acuerdo a la clasificación de la Tabla 7, y teniendo en cuenta que Pavas se encuentra en un clima cálido, los suelos tratados con Lombricomposto y Bufalaza presentaron valores de Materia Orgánica de medio a alto.

Tabla 15. Materia Orgánica del suelo en (%) por zona de la cárcava. Fuente: (Autor, 2015)

Nomenclatura	Tratamiento	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja
B	Bufalaza	3,25	4,41	2,91
L	Lombricompuesto	4,37	2,93	3,2
M	Mineral	1,51	1,7	1,91
T	Testigo	0,57	0,9	1,11

La tabla 15 muestra los resultados obtenidos de la MO en el suelo, en los cuales indican que este respondió a los aportes de las enmiendas aplicadas, de acuerdo al análisis ANOVA (Anexo 4), se encontró que esta variable no tuvo diferencias significativas entre los bloques ($P = 0,265$), es decir las zonas no influyeron en el comportamiento de la MO, esto pudo deberse a los controles de pendiente, humedad y cobertura que se tuvieron en laboratorio; la prueba de intervalos Tukey indicó cuales de los tratamientos tuvieron comportamientos parecidos entre sí, mostrando la relación de los efectos de los tratamientos B y L, y entre los tratamientos M y T.

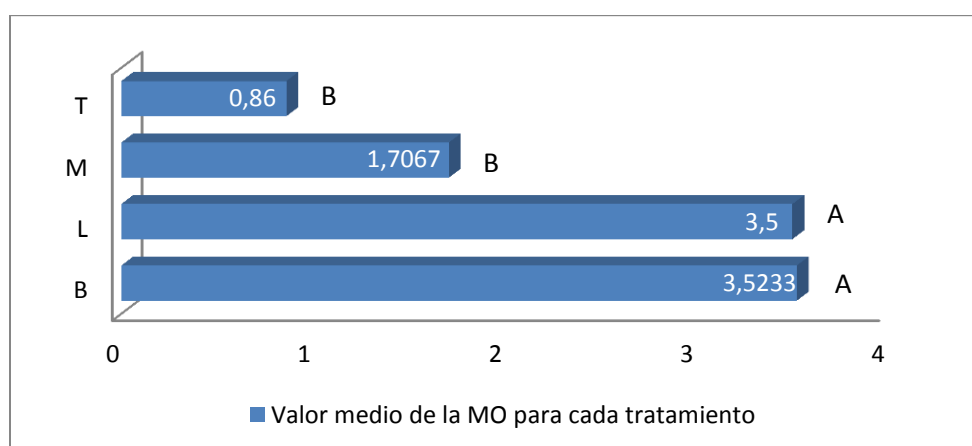


Gráfico 1. Comparación de medias entre el contenido de materia orgánica del suelo en cada uno de los tratamientos. Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 % (Prueba de Tukey).

El Gráfico 1 muestra la relación entre las respuestas de la materia orgánica del suelo entre los tratamientos Bufalaza y Lombricompuesto, y su diferencia respecto al Testigo y Mineral, situación que se esperaba en un principio debido al aporte de la materia orgánica de cada una de las enmiendas y su grado de humedad, demostrando con esto, que la actividad biológica edáfica se vio favorecida con estas fuentes adicionales de nitrógeno.

Estadísticamente se demostró que no existen diferencias significativas entre el efecto de la enmienda Mineral respecto al Testigo, pero se observan que sus valores aumentaron, esto se pudo haber favorecido por el incremento de la actividad microbiana edáfica, debido a las condiciones de invernadero que permitieron que esta población captara algo del Sulfato aportado, pero que debido al no crecimiento de la cobertura en este, no se pudo y dada su alta solubilidad fue arrastrado por el agua aportada.

4.3. Densidad Aparente (Da)

Teniendo en cuenta que la densidad aparente es un estimador de la calidad del suelo y que su valor disminuye a medida que aumenta el contenido de Materia Orgánica, mejorando con esto la estructura del mismo, se evidencia que los tratamientos en general presentados en la tabla 16, se encuentran dentro del rango admisible de Densidad Aparente para las texturas finas, de acuerdo a la Tabla 10.

Tabla 16. Densidad aparente del suelo (g/cm³). Fuente: (Autor, 2015)

<i>Tratamiento</i>	<i>Zona Alta</i>	<i>Zona Media</i>	<i>Zona Baja</i>
B	0,79	0,7	0,72
L	0,67	0,89	0,85
M	0,85	0,88	0,94
T	0,92	0,86	0,98

La variable densidad aparente no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Gráfico 2.), sus valores estuvieron entre 0,67 y 0,98 g/cm³ (Tabla 16), donde el menor valor pertenece L y el mayor a T, lo que indica de acuerdo a la Tabla 15, que efectivamente aquellos tratamientos que presentaron los mayores valores de MO, fueron los que tuvieron un menor de Da.

Se puede indicar que los tratamientos B y L, presentaron menor Da, debido al tamaño de agregados de las enmiendas, que promovieron la formación de grandes espacios en el suelo favoreciendo la penetración radicular por parte de la vegetación utilizada como cobertura vegetal, la cual se vio favorecida por el aporte de materia orgánica.

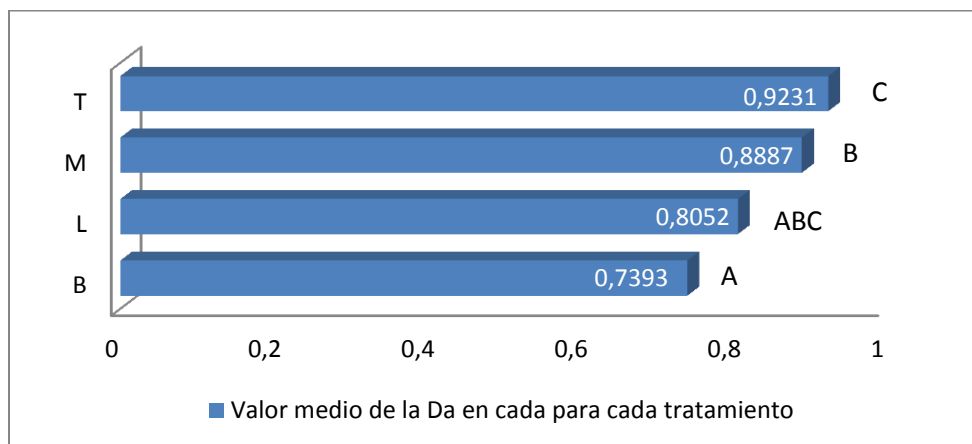


Gráfico 2. Comparación de medias entre el contenido de Da del suelo en cada uno de los tratamientos. Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 % (Prueba de Tukey).

Los valores altos de Da de los tratamientos M y T, se deben a que en estos el aporte de materia orgánico fue menor lo que no favoreció la enlaces órgano-minerales para la formación de agregados estables.

4.4. Densidad real (Dr)

La Densidad real (Dr), está relacionada con la composición mineral del suelo. De acuerdo a la Tabla 11, se puede decir que efectivamente el suelo de la cárcava se caracteriza por ser arcilloso con poco contenido de materia orgánica de origen parental al ser un Inceptisol, de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 17. Densidad real del suelo (g/cm^3). Fuente: (Autor, 2015)

Nomenclatura	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja
B	2,31	2,63	2,33
L	2,54	2,97	2,29
M	2,67	2,74	2,38
T	2,78	2,59	2,14

Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas para los tratamientos de esta variable, sin embargo se evidencia en la Tabla 17, que al igual que la Dr, los agradados de la materia orgánica aportada aumentaron el volumen del suelo disminuyendo su peso, lo que mejora la estructura y disminuye el valor de Dr.

4.5. Porosidad (Po)

El arreglo del espacio poroso en el suelo determina el volumen disponible para los líquidos y gases en el suelo, la tabla 18 indica los resultados obtenidos de esta variable en cada uno de los tratamientos, encontrando unos valores de porosidad que se clasifican como excelentes de acuerdo a la clasificación de porosidad de la tabla 12.

Los resultados (Tabla 18) muestran que en las zonas media y baja, del tratamiento B presentaron los valores más altos respecto a los testigos correspondientes; esto se puede deber entre otras cosas al tamaño inicial de los agregados de la enmienda. Cabe aclarar que todos los tratamientos le confirieron al suelo una buena porosidad, lo que permite mejorar la infiltración en el suelo y disminuir así los procesos de escorrentía.

Tabla 18. Porosidad del suelo (%). Fuente: (Autor, 2015)

Nomenclatura	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja
B	65,88	73,23	68,95
L	73,37	68,09	62,76
M	68,17	68	60,49
T	66,77	66,66	54,17

4.6. Actividad microbiana del suelo (AMS)

La microbiota presente en el suelo garantiza en él, la disponibilidad de nutrientes para los ciclos vegetativos debido a su participación en los procesos de descomposición del material orgánico y en la inmovilización de los elementos. La estimación de su respiración brinda una idea de su dinámica y por tanto de los procesos metabólicos que se llevan a cabo en el suelo, estos varían en función de los factores dinámicos y biofísicos del suelo, lo que permite que su medición sea un indicador de la biomasa presente en él (Mora, 2006).

Tabla 19. Humedad promedio de los tratamientos (%). Fuente: (Autor, 2015)

Nomenclatura	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja
B	41,12	39,27	35,7
L	39,17	39,98	36,17
M	36,61	40,56	39,79
T	54,65	45,01	36,13

Tabla 20. Actividad microbiana del suelo ($\mu\text{gCO}_2/\text{gss}$). Fuente: (Autor, 2015)

Nomenclatura	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja
B	63,04	35,19	48,35
L	108,32	66,71	62,12
M	29,68	10,71	26,93
T	11,63	39,17	44,06

Salamanca, (2008) define como valores altos de actividad, aquellos superiores a $115\mu\text{gCO}_2/\text{gs}$, por lo que se puede decir que en todos los tratamientos la AMS fue baja (Tabla 20), esto se debe en parte a las características propias del suelo, ya que se trata de un suelo con alto grado de erosión en el cual la mayor parte de su material orgánico se ha perdido debido al arrastre de partículas.

Los valores de actividad microbiana estuvieron entre 10,71y 108,32 $\mu\text{gCO}_2/\text{gss}$; estadísticamente se encontró que no se presentaron diferencias significativas entre las zonas, por lo que se pudo analizar la actividad de la cárcava entera como una sola unidad, encontrando que entre los tratamientos se presentaron diferencias significativas respecto al testigo (Grafica 3). Los resultados muestran que los tratamientos T y B, tienen comportamientos similares, asociados a sus altos valores de MO y bajos niveles de Da; puesto que estas enmiendas contribuyen al aumento del contenido de la actividad biológica debido a la gran cantidad de flora contenida en ella que es una fuente de energía y nutrientes para los organismos del suelo (Hernández, (2009), citado en Rosero, 2013).

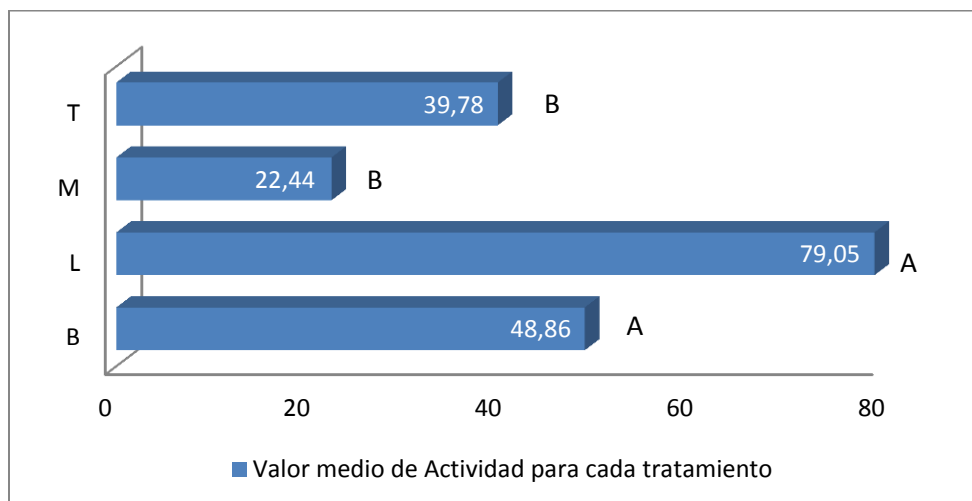


Gráfico 3. Comparación de medias entre el contenido de Actividad Microbiana del suelo en cada uno de los tratamientos. Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 % (Prueba de Tukey).

El incremento en los valores de Actividad del Testigo respecto a la enmienda Mineral, se pudo dar de acuerdo a *Jenkinson (1992)*, citado por *Mora, (2006)*, por la influencia de los múltiples factores que intervinieron en el proceso y pudieron resultar favorecedores para la fauna edáfica bajo condiciones de laboratorio, como lo son el control de la temperatura y humedad en el suelo, lo que favoreció la accesibilidad a los sustratos.

La relación entre la Actividad Microbiana con la Materia Orgánica (Tabla 15), indica que en aquellos tratamientos en donde aumentó la materia orgánica, los microorganismos obtuvieron el escenario más favorecedor para realizar los procesos de descomposición de la misma e incrementar así su presencia en el suelo; esto favorecido por el contenido de humedad promedio (Tabla 19), que mantuvo al suelo en condiciones óptimas a capacidad de campo (Tabla 13), actuando como un factor dinamizador de la actividad de los organismos presentes en el suelo.

4.7. Biomasa microbiana del suelo (BMS)

Se denomina Biomasa Microbiana del Suelo, a la porción viva de la materia orgánica, excluyendo las raíces de las plantas y los animales presentes en el suelo mayores a $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$ (*Acosta & Paolini, 2006*); este valor de acuerdo con *Smith, et al. (1995)*, citado por *Salamanca, (2008)*, se considera bueno cuando es mayor a $200 \mu\text{gCO}_2/\text{gs}$.

Los valores presentados en la Tabla 21, indica que en todos los tratamientos los valores de biomasa están muy por debajo del valor ideal, lo que podría indicar que la poca población

microbiana está transformando rápidamente la materia orgánica que acumulada desde la adición de las enmiendas, situación que sería contraria a lo dicho por *Cabrera, (2007)*, citado por *Salamanca, (2008)*, quien encontró que la descomposición de residuos adicionados de manera superficial al suelo presentan una mayor descomposición a bajos contenidos de humedad, ya que los tratamientos en este caso estuvieron a capacidad de campo (ver Tablas 13 y 19).

Tabla 21. Biomasa microbiana del suelo ($\mu\text{gC/gss}$). Fuente: (Autor, 2015)

Nomenclatura	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja
B	72,66	40,25	50,14
L	76,83	44,23	32,00
M	38,93	34,54	44,84
T	11,41	38,72	41,98

Estadísticamente se encontró que no existen diferencias entre las zonas estudiadas ni entre los tratamientos (Gráfico 4), lo que puede indicar que las buenas condiciones de temperatura y humedad del invernadero permitieron que los pocos microorganismos presentes logaran degradar gran parte de la biomasa presente en el mismo.

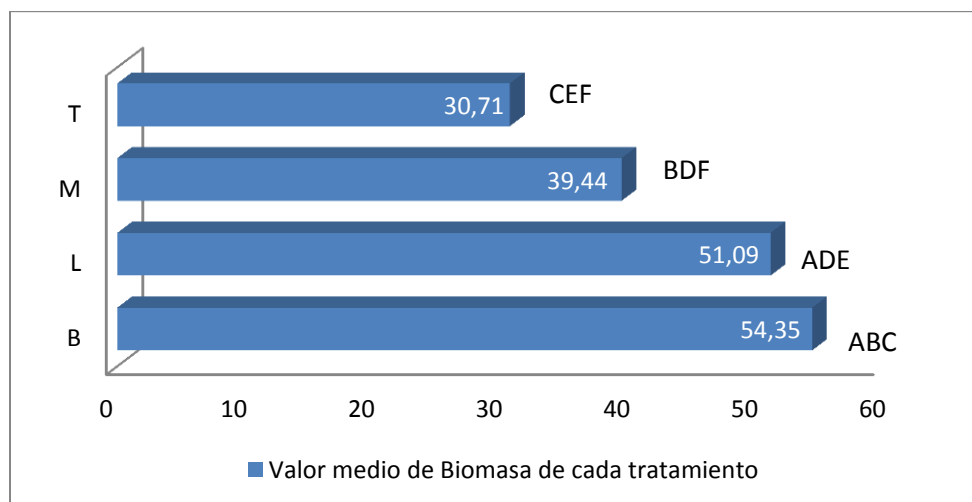


Gráfico 4. Comparación de medias entre el contenido de Biomasa Microbiana del Suelo en cada uno de los tratamientos. Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 % (Prueba de Tukey).

4.8. Coeficiente Metabólico del Suelo

Debido a que este coeficiente indica el consumo de carbono proveniente de la mineralización de un sustrato, se presentan en la Tabla 22, los valores correspondientes al consumo de carbono por hora; esto se da al relacionar la el tiempo de incubación de la actividad biológica con la biomasa presente en el suelo.

Tabla 22. Coeficiente metabólico del suelo (qC/h). Fuente: (Autor, 2015)

Nomenclatura	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja
B	0,00452	0,00455	0,00502
L	0,00734	0,00782	0,01011
M	0,00397	0,00161	0,00313
T	0,00531	0,00527	0,00850

Estadísticamente se comprobó que no existen diferencias significativas entre las zonas de estudio para el valor de Coeficiente metabólico del suelo ($p=0,191$) y por eso fue posible analizar los tratamientos como un solo bloque en donde se encontró que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

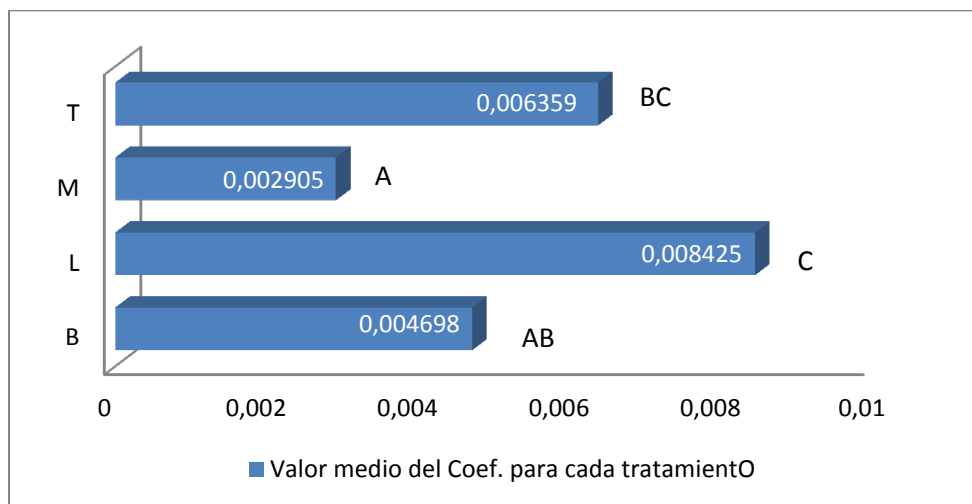


Gráfico 5. Comparación de medias del Coeficiente Metabólico del Suelo en cada uno de los tratamientos. Valores seguidos con la misma letra no difieren significativamente al nivel del 5 % (Prueba de Tukey).

El Gráfico 5 muestra que la media del tratamiento L es la mayor, esto se da debido a que es el tratamiento que presenta la mayor presencia de microorganismos con las actividades más altas

favorecidas por el aporte de nutrientes y las condiciones ambientales, lo que provocó una mayor descomposición de la biomasa presente en el suelo.

El tratamiento M, presentó los valores más bajos, esto se pudo deber a la disminución de la actividad microbiana en el suelo, lo que provocó una mayor acumulación de la biomasa reduciendo así el consumo por hora del carbono.

Los valores del coeficiente metabólico encontrados en el testigo evidenciaron que la fauna propia del suelo se vio fuertemente favorecida por las condiciones de invernadero, estimulando con esto el aumento en su actividad que redujo considerablemente la poca biomasa presente, aumentando así el consumo de carbono por hora.

Capítulo 5.

Conclusiones y recomendaciones



Imagen 5. Surco formado por la acción del agua. Corregimiento de Pavas, Valle del Cauca.
Fuente: Autor

Conclusiones

- ✓ La caracterización realizada indicó que los bajos valores obtenidos para la Densidad Aparente y los elevados valores de Densidad Real en el testigo, se presentaron debido a que se trabajó con un suelo residual desprovisto de los horizontes superficiales a causa del arrastre ocasionado por la erosión hídrica y que en su proceso de meteorización de cenizas volcánicas sobre rocas ígneas, tiene una composición de feldespatos, minerales ferromagnesianos y concentración de óxidos de hierro y aluminio (Gidigasú, 1972).
- ✓ En cuanto a la actividad y biomasa microbiana se puede concluir que son parámetros que dependen mucho de las condiciones ambientales, así como de los residuos que se adicionen en campo, es decir que para este ensayo se pudo observar que las fuentes orgánicas aplicadas en los bloques, generaron mayores valores de estos parámetros, que en aquellos suelos en los cuales no hubo adición o en los cuales se adicionó la enmienda mineral.
- ✓ La aplicación de enmiendas orgánicas al suelo presentaron cambios aunque no significativos estadísticamente, se evidenció un incremento de los valores de Materia Orgánica de los tratamientos con Bufalaza y Lombricompuesto respecto al testigo.
- ✓ Se encontró que la aplicación de enmiendas con altos contenidos de materia orgánica al suelo, si bien no presentó diferencias significativas en sus valores de Biomasa Microbiana, permitió mejorar la calidad del suelo afectado por erosión en la zona estudiada, ya que este contenido aportado fue capaz de disminuir el valor de la densidad aparente del suelo, aumentando con esto su porosidad, facilitando su capacidad de infiltración de agua y penetración radicular que “amarra” el suelo y evita que este se pierda por efecto de la escorrentía.
- ✓ La aplicación de enmiendas orgánicas con el fin de incrementar el material orgánico y mejorar las propiedades tanto físicas como biológicas de los suelos erosionados se constituye en una alternativa económicamente viable, que contribuye a incrementar el contenido nutricional de los suelos y mitigar los procesos erosivos.

Recomendaciones

- ✓ Teniendo en cuenta que este es uno de los pocos trabajos que aborda esta problemática en la región, se hace importante ampliar los estudios, mediante el uso de diferentes enmiendas a fin de encontrar la que genere un mayor efecto en las principales características que definen la calidad del suelo, para disminuir así los efectos de los procesos erosivos en las zonas de ladera.
- ✓ Se recomienda aumentar el tiempo de análisis y la frecuencia de aplicación de las dosis de las enmiendas a fin de minimizar la disminución de la actividad microbiana debido a la transformación de la materia orgánica en el tiempo, para alcanzar las perspectivas deseadas.
- ✓ Se recomienda mejorar la calidad de las enmiendas a fin de aumentar la disponibilidad de nutrientes requeridos para las plantas utilizadas como cobertura.
- ✓ Debido a la importancia de este tipo de proyectos se hace importante involucrar a la población directamente afectada (campesinos, agricultores, etc.), a fin de despertar en ellos la necesidad de la conservación del suelo, mediante la implementación de obras agronómicas de este tipo, complementadas a su vez con prácticas mecánicas como la construcción de terrazas, trinchos, gaviones, etc. que garanticen el adecuado funcionamiento de los tratamientos aplicados y su sostenimiento en el tiempo.

Capítulo 6.

Bibliografía

- ✓ Acosta, Y., & Paolini, J. (2006). *Dinámica de la biomasa microbiana (C y N) en un suelo de la península de Paraguana tratado con residuos orgánicos*. Punto Fijo: Universidad del Zulia Multiciencias. Vol. 6 Número 2: 180-187p.
- ✓ Almorox, J., Lopez, F., & Rafaelli, S. (2012). *La Degradación de los Suelos por Erosión Hídrica. Métodos de Estimación*. Murcia: Universidad de Murcia. 384p.
- ✓ Álvarez, R., Santanatoglia, O. (1985). *Actividad biológica y biomasa microbiana en diferentes suelos incubados bajo las mismas condiciones ambientales*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Vol. 3: 180-184p.
- ✓ Álzate, J., & Campiño, D. (2014). *Actividad microbiana de suelos con manejo orgánico y convencional*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 69p.
- ✓ Appleby, J., Cuartas, C., Márquez, L., Valencia, M., Ortega, M., & Palacio, D. (1996). *Erosión. Aspectos Básicos y Métodos de evaluación en Laboratorio*. Medellín: Universidad de Medellín. 78p.
- ✓ Arias, A. (2007). *Suelos Tropicales*. San José: EUNED. 188p
- ✓ Avendaño, C. (2014). *Fotografía Erosión Hídrica en Restrepo*. Restrepo, Valle del Cauca.
- ✓ Balota, E., Colazzi, A., Andrade, D. & Hungria, H. (1998). *Biomassa microbiana e seu atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas*. Rio de Janeiro: XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo 22. 641-649pp.
- ✓ Batjes, N. (1996). *Total carbon and nitrogen in the soils of the world*. European Journal of Soil Science. Vol. 47: 151-163p.
- ✓ Benjumea, P. (1998). *Evaluación de la actividad microbiana en cultivos de plátano (AAB) en Roza, Valle del Cauca*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 64p.
- ✓ Blanchart, E., Villenave, C., Viallatoux, A., Barthés, B., Girardin, C., Azontonde, A., & Feller, C. (2006). *Long-term effect of legume cover crop (Mucuna pruriens var. utilis) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation*,

in southern Benin. European Journal Soil Biology. Volumen 42. 136-144p. Recuperado el 7 de mayo de 2013 de: ScienceDirect:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S116455630600063X>

- ✓ Burbano, H. (1989). *El suelo: Una visión sobre sus componentes bioorgánicos*. Pasto: Universidad de Nariño. 447p.
- ✓ Charry, J. (1987). *Naturaleza y propiedades físicas de los suelos*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 362p.
- ✓ Colacicco, D., Osborn, T., & Alt, K. (1989). *Economic damage from soil erosion*. Journal of Soil and Water Conservation 44: 35-39p.
- ✓ De las Salas, G. (1979). *La material organic del suelo*. IICA/CATIE. 33p.
- ✓ Do Prado, L., & Da Veiga, M. (1992). Relación entre erosión y pérdida de fertilidad del suelo. En FAO, *Erosión de suelos en América Latina*. Montevideo: Recuperado el 7 de Mayo de 2013 de: FAO: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351s06.htm>
- ✓ Domez, D. (1997). *Estimación de algunos agentes biológicos del suelo asociados con el manejo del cultivo de la yuca (Manihot esculenta Kranzt) en la costa Norte de Colombia*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- ✓ FAO, (S.F.). *Portal de suelos de la FAO, la biodiversidad del suelo*. Recuperado el 17 de mayo de 2015 de: FAO: www.fao.org
- ✓ FAO, (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión en el suelo y de la escorrentía*. Roma: Boletín de Suelos de la FAO-68.
- ✓ Fassbender, H., (1975). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Turrialba, Costa Rica: IICA. 398p.
- ✓ Fernández, C., & Novo, R. (1988). *Vida microbiana en el Suelo*. La Habana: Pueblo Educación. 523p.
- ✓ Fosu, M., Kuhne, R., & Vlek, P. (2007). *Mineralization microbial biomass dynamics during decomposition of four leguminous residues*. Journal Biological Sciences. Vol. 7:632-637. Recuperado el 7 de Mayo de 2013 de CabDirect:

<http://www.cabdirect.org/abstracts/20073270378.html;jsessionid=958DB1626C431FE80CCCD355813B4C10>

- ✓ Fuentes, R. (2007). *Agroecosistemas sostenibles y ecológicos. La reconversión agropecuaria*. Galicia: Universidad de Santiago de Compostela. 250p.
- ✓ Gomez, A., Schnabel, S., & Lavado, F. (2011). *Procesos, factores y consecuencia de la erosión por cárcavas; Trabajos desarrollados en la península*. Boletín de la asociación de geógrafos españoles. Número 55. 59-80p.
- ✓ Graetz, H. (1997). *Suelos y fertilización*. Trillas, México: traducido por F. Luna Orozco. 80p.
- ✓ Hernández, A., Ascanio, M., Morales, M., Bojórquez, I., Norma, G., & García, D. (2006). *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. Nayarit: Universidad Autónoma de Nayarit. 255p.
- ✓ IGAC (2004). *Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Departamento del Valle del Cauca*. Tomo I
- ✓ IGAC (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. 6 Edición. DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Bogotá.
- ✓ Jackson, L. (2000). *Fates and Losses of Nitrogen from a Nitrogen-15-Labeled CoverCrop in an Intensively Managed Vegetable System*. Journal Soil fertility and plant nutrition. Vol. 64: 1404-1422p.
- ✓ Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellin: Universidad Nacional de Colombia. 613p.
- ✓ Jaramillo, R. (2014). *Estructura para el montaje de diseño experimental*. Diseño: Diko.
- ✓ Johnson, C. (1987). *Soil loss tolerance: Fact or myth?* Journal of Soil and Water Conservation 42: 155-160p.
- ✓ Jenkinson, D., & Ladd, J. (1981). *Microbial biomass in soil*. New York: Measurement and turnover: Vol. 5. 415-417 pp.
- ✓ Lavelle, P. (1996). *Diversity of soil fauna and ecosystem function*. Biology International. Vol. 33, 3-16p.

- ✓ León, J. (2001). *Estudio y control de la Erosión Hídrica*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 224p.
- ✓ Lillo, A., Ramírez, H., Reyes, F., Ojeda, N., & Alvear, M. (2011). *Actividad Biológica de un suelo de bosque templado en un transecto altitudinal, Parque Nacional Conguillío (38°S), Chile*. Recuperado el 7 de Mayo de 2013 de: Scielo. 46-56p.de:http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002011000100006&script=sci_arttext
- ✓ López, F. (2002). *Erosión y desertificación. Heridas de la tierra*. España: NIVOLA. 190p.
- ✓ López, P. (2002). *Compostaje de Residuos Orgánicos*. Santiago de Cali: Universidad del Valle. 92p.
- ✓ Martínez, M., Rubio, E., Oropeza, J., & Palacios, C. (2009). *Control de cárcavas*. Montecillos: SAGARDA.
- ✓ Martínez, R. (2004). *Propiedades de los suelos. Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca*. IGAC: Capítulo IV. 308-335pp.
- ✓ Medina, M. (2012). *Caracterización bioquímica y microbiológica de un suelo de pradera de «dactylis glomerata» y «medicago sativa» bajo diferentes proporciones de siembra*. Salamanca: Universidad de Salamanca. 67-71p.
- ✓ Mora, J. (2006). *La actividad microbiana. Un indicador integral de la calidad del suelo*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 6p.
- ✓ Moreira, F., Huising, E., & Bignell, D. (2012). *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. México: Instituto Nacional de Ecología. 337 p.
- ✓ Müller, K., & Castillo, J. (1997). *Labranza mínima, una tecnología para las laderas de Colombia*. Conservando.
- ✓ Narro, E. (2004). *Física de suelos: con enfoque agrícola*. Trillas, México: Ediciones Trillas. 195p.
- ✓ Pardo, N., Martínez, H., Duran, L., Rincón, J., & Rosas, A. (2004). *Volvamos al campo. Manual de cultivos orgánicos y aleopatía*. Bogotá: Grupo Latino. 700p.

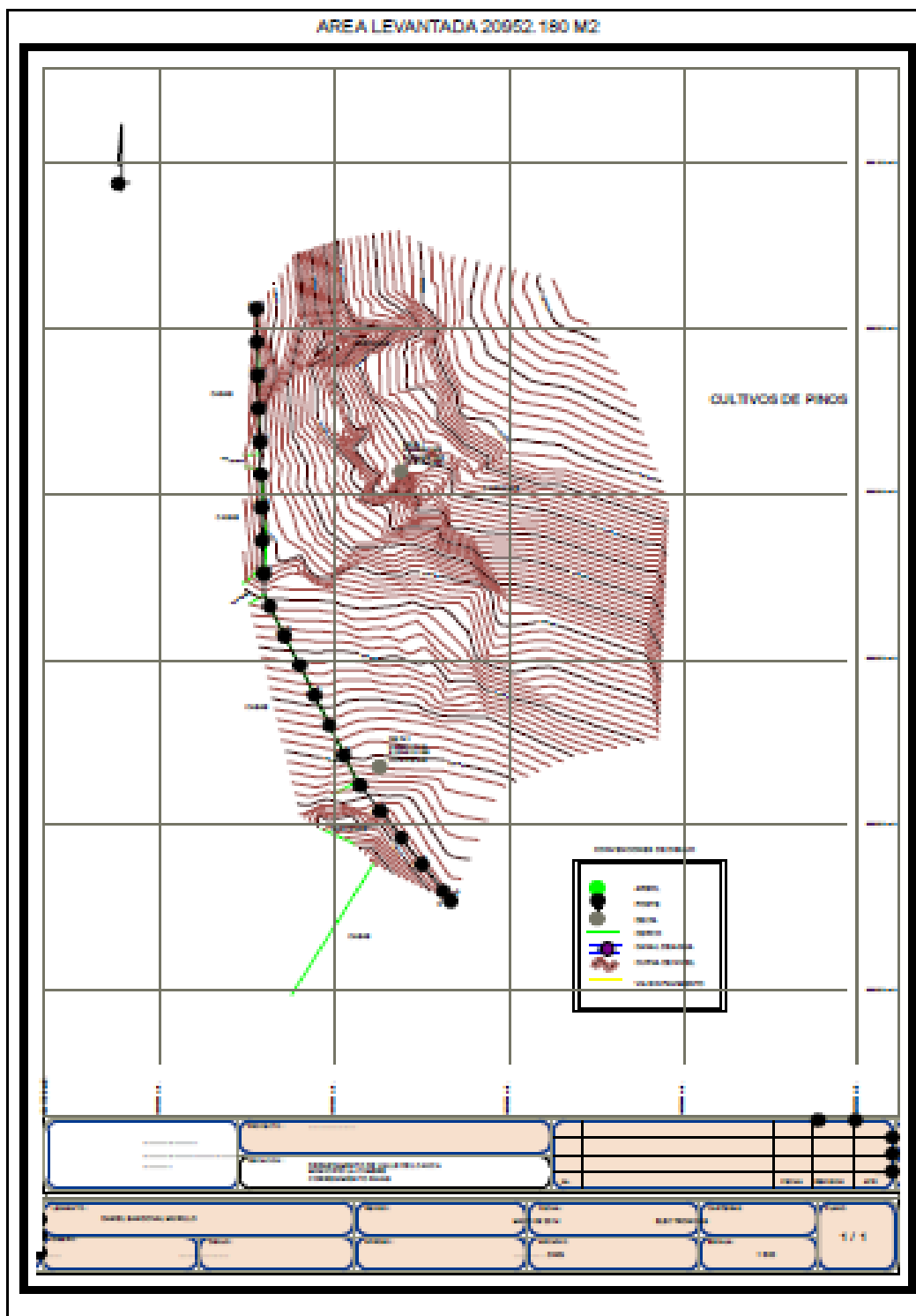
- ✓ Pernet, X. (2006). *Proceso para cuantificar e interpretar las características físicas y químicas del suelo que regulan su función con el agua, el almacenamiento de nutrientes y la infiltración*. Lima: International Potato center. 20p.
- ✓ Ramírez, P., Trujillo, P., & Rivera, B. (2012). *Identificación y cuantificación de la actividad microbiana y macro fauna de un Andisol bajo diferentes sistemas de manejo en el municipio de Marinilla (Antioquia)*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- ✓ Rivera, J. (2005). *Causas y consecuencias de la erosión de suelos de ladera colombiana*. 1-15p. Recuperado el 7 de Marzo de 2013: http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap11.pdf
- ✓ Rosero, E. (2013). *Evaluación de la aplicación de compost proveniente de biorresiduos del municipio de Versalles y residuos de poda de jardín en las propiedades químicas y biológicas de un suelo Andisol y en la producción de maíz (Zea mays)*. Cali: Universidad del Valle. 119p.
- ✓ Sagardoy, M., & Mandolesi, M. (2004). *Biología del suelo. Guía de estudio*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur. 114p.
- ✓ Salamanca, C. (2008). *Efecto de las fuentes orgánicas obtenidas de los subproductos agroindustriales de la caña de azúcar (Saccharum officinarum L) y el Plátano (Musa spp.) sobre la actividad microbiana y enzimática del suelo*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 77p.
- ✓ Sánchez, B., Ruiz, M., & Ríos, M. (2005). *Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud en la cuenca del río Maracay, estado Aragua*. Maracay: Fonacit: Agronomía Tropical. Vol. 55: 507-534p. recuperado el 7 de Mayo de 2013 de: Scielo: <http://www.scielo.org.ve/pdf/at/v55n4/art04.pdf>
- ✓ Sanclemente, O. (2009). *Efecto de cultivos de cobertura. Mucuna pruriens, en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo Typic Haplustalfs, cultivado con maíz (Zea Mays L.) en zona de ladera del municipio de Palmira, Valle*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 79p.
- ✓ Sandoval, D. (2014). *Levantamiento altimétrico de la zona de estudio*. Pavas
- ✓ Soil Survey Staff (2010). *Claves para la taxonomía de suelos*. Washington, DC: 11th ed. USDA-Natural Resources conservation. 374p.

- ✓ Tapia, L., Tiscareño, M., Salinas, J., Velázquez, M., Vega, A., & Guillén, H. (2002). *Respuesta de la cobertura residual del suelo a la erosión hídrica y la sostenibilidad del suelo en laderas agrícolas*. Terra, 20, 449-457p.
- ✓ Tejada, M., Gonzales, L., García, A., & Parrado, G. (2007). *Effects of different Green manures on soil biological properties and maize yield*. Bioresource Technology. Vol. 99(6), 1758-1767. Recuperado el 7 de Mayo de 2013 de: ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085240700301X>
- ✓ Thompson, L., & Troeh, F. (1998). *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona: Reverte. 661p.

Anexos

Anexo 1. Altimetría de la zona de estudio.

Fuente: (Sandoval, 2014)



Anexo 2. Zona seleccionada para el estudio, afectada por erosión en cárcava.
 . Corregimiento de Pavas, Municipio de la Cumbre.
Fuente: (Autor, 2014)



Anexo 3. Estructura con los bloques experimentales.
Fuente: (Autor, 2015)



Anexo 4. Análisis estadístico de cada una de las variables.

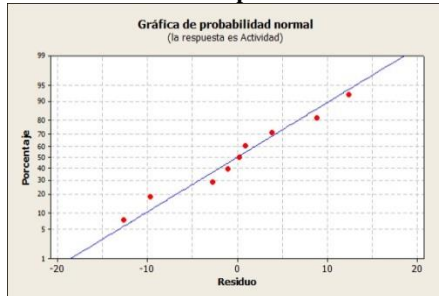
ACTIVIDAD MICROBIANA

ANOVA de dos factores: Actividad vs. Bloque. Tratamiento

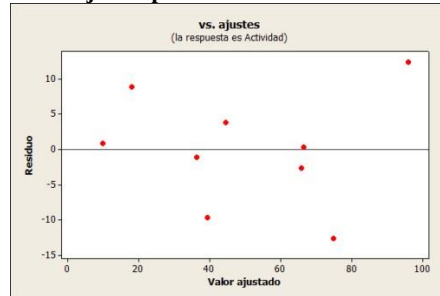
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Bloque	2	1387,33	693,67	5,47	0,072
Tratamiento	2	4814,16	2407,08	18,99	0,009
Error	4	506,92	126,73		
Total	8	6708,42			

S = 11,26 R-cuad. = 92,44% R-cuad. (ajustado) = 84,89%

Gráfica normal de residuos para Actividad



Residuos vs. ajustes para Actividad



Prueba de varianzas iguales: Actividad vs. Tratamiento

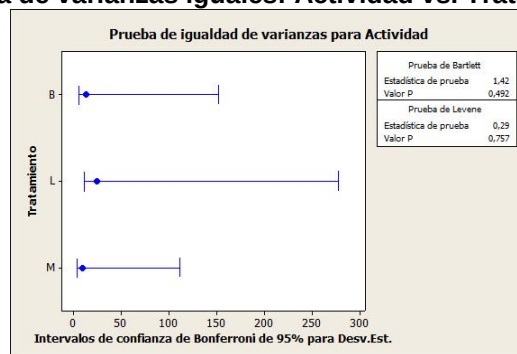
Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándares

Tratamiento	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
B	3	6,3664	13,9300	152,277
L	3	11,6340	25,4557	278,271
M	3	4,6852	10,2514	112,064

Prueba de Barlett (distribución normal)
Estadística de prueba = 1,42. valor p = 0,492

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)
Estadística de prueba = 0,29. valor p = 0,757

Prueba de varianzas iguales: Actividad vs. Tratamiento



Modelo lineal general: Actividad vs. Tratamiento

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	fijo	4	B. L. M. T

Análisis de varianza para Actividad, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamiento	3	5054,5	5054,5	1684,8	3,84	0,057
Error	8	3514,5	3514,5	439,3		
Total	11	8569,1				

S = 20,9599 R-cuad. = 58,99% R-cuad.(ajustado) = 43,61%

95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

Variable de respuesta Actividad

Comparaciones con el nivel de control

Tratamiento = T restado a:

Tratamiento	Inferior	Centrada	Superior
B	-40,20	9,08	58,36
L	-10,01	39,27	88,55
M	-66,62	-17,34	31,94

Tratamiento ---+-----+-----+-----+---
 B (-----*-----)
 L (-----*-----)
 M (-----*-----)
 ---+-----+-----+-----+---
 -50 0 50 100

Pruebas simultáneas de Dunnett

Variable de respuesta Actividad

Comparaciones con el nivel de control

Tratamiento = T restado a:

Tratamiento	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
B	9,08	17,11	0,530	0,9103
L	39,27	17,11	2,295	0,1191
M	-17,34	17,11	-1,013	0,6355

ANOVA unidireccional: Actividad vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	5055	1685	3,84	0,057
Error	8	3515	439		
Total	11	8569			

S = 20,96 R-cuad. = 58,99% R-cuad.(ajustado) = 43,61%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.
B	3	48,86	13,93
L	3	79,05	25,46
M	3	22,44	10,25
T	3	39,78	28,46

---+-----+-----+-----+---
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 ---+-----+-----+-----+---
 0 30 60 90

Desv.Est. agrupada = 20,96

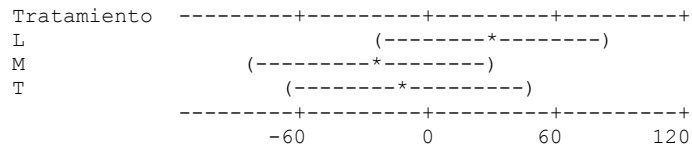
Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 98,74%

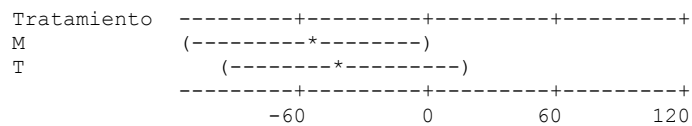
Tratamiento = B restado de:

Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
L	-24,63	30,19	85,01
M	-81,24	-26,42	28,40
T	-63,90	-9,08	45,74



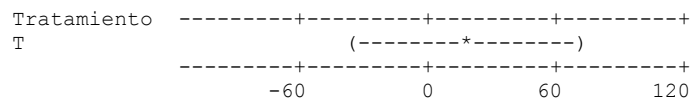
Tratamiento = L restado de:

Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
M	-111,43	-56,61	-1,79
T	-94,09	-39,27	15,55



Tratamiento = M restado de:

Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
T	-37,48	17,34	72,16



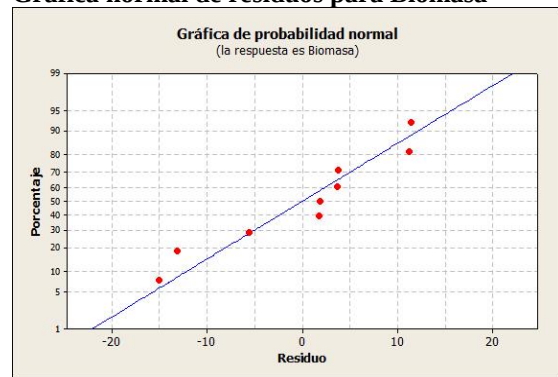
BIOMASA MICROBIANA

ANOVA de dos factores: Biomasa vs. Bloque. Tratamiento

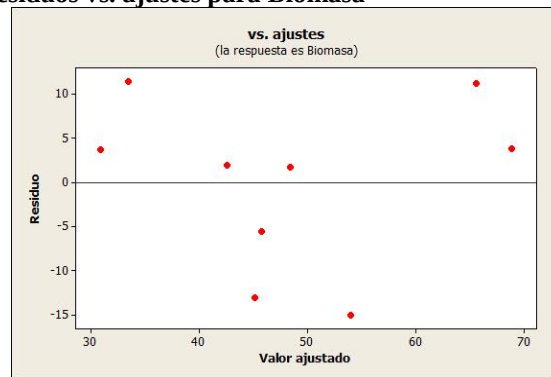
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Bloque	2	958,13	479,066	2,67	0,184
Tratamiento	2	368,73	184,367	1,03	0,437
Error	4	718,53	179,633		
Total	8	2045,40			

S = 13,40 R-cuad. = 64,87% R-cuad.(ajustado) = 29,74%

Gráfica normal de residuos para Biomasa



Residuos vs. ajustes para Biomasa



Prueba de varianzas iguales: Biomasa vs. Tratamiento

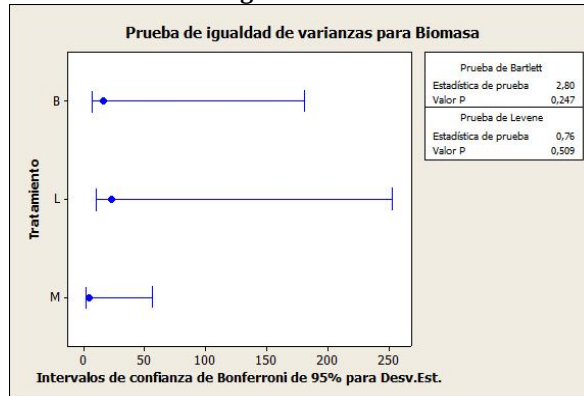
Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándares

Tratamiento	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
B	3	7,5904	16,6080	181,551
L	3	10,5794	23,1480	253,044
M	3	2,3605	5,1649	56,461

Prueba de Barlett (distribución normal)
 Estadística de prueba = 2,80. valor p = 0,247

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)
 Estadística de prueba = 0,76. valor p = 0,509

Prueba de varianzas iguales: Biomasa vs. Tratamiento



Modelo lineal general: Biomasa vs. Tratamiento

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	fijo	4	B. L. M. T

Análisis de varianza para Biomasa, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamiento	3	1064,4	1064,4	354,8	1,27	0,349
Error	8	2240,3	2240,3	280,0		
Total	11	3304,7				

S = 16,7345 R-cuad. = 32,21% R-cuad.(ajustado) = 6,79%

95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett
 Variable de respuesta Biomasa
 Comparaciones con el nivel de control
 Tratamiento = T restado a:

Tratamiento	Inferior	Centrada	Superior
B	-15,71	23,641	62,99
L	-18,97	20,380	59,73
M	-30,62	8,730	48,08

Tratamiento	Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett
B	(-----*-----)
L	(-----*-----)
M	(-----*-----)

-30 0 30 60

Pruebas simultáneas de Dunnett
 Variable de respuesta Biomasa
 Comparaciones con el nivel de control
 Tratamiento = T restado a:

Tratamiento	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
B	23,641	13,66	1,7302	0,2671
L	20,380	13,66	1,4916	0,3668
M	8,730	13,66	0,6389	0,8591

ANOVA unidireccional: Biomasa vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
--------	----	----	----	---	---

Tratamiento	3	1064	355	1,27	0,349
Error	8	2240	280		
Total	11	3305			

S = 16,73 R-cuad. = 32,21% R-cuad.(ajustado) = 6,79%

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
B	3	54,35	16,61	(-----*-----)
L	3	51,09	23,15	(-----*-----)
M	3	39,44	5,16	(-----*-----)
T	3	30,71	16,79	(-----*-----)

Desv.Est. agrupada = 16,73

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 98,74%

Tratamiento = B restado de:

Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
L	-47,03	-3,26	40,51
M	-58,68	-14,91	28,86
T	-67,41	-23,64	20,13

Tratamiento	
L	(-----*-----)
M	(-----*-----)
T	(-----*-----)

-35 0 35 70

Tratamiento = L restado de:

Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
M	-55,42	-11,65	32,12
T	-64,15	-20,38	23,39

Tratamiento	
M	(-----*-----)
T	(-----*-----)

-35 0 35 70

Tratamiento = M restado de:

Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
T	-52,50	-8,73	35,04

Tratamiento	
T	(-----*-----)

-35 0 35 70

COEFICIENTE METABÓLICO

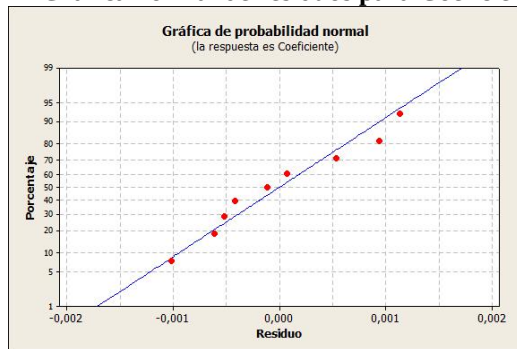
ANOVA de dos factores: Coeficiente vs. Bloque. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Bloque	2	0,0000031	0,0000015	1,42	0,343
Tratamiento	2	0,0000476	0,0000238	21,99	0,007
Error	4	0,0000043	0,0000011		

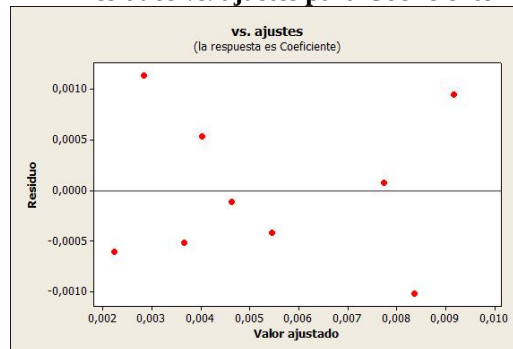
Total 8 0,0000550

S = 0,001040 R-cuad. = 92,13% R-cuad. (ajustado) = 84,25%

Gráfica normal de residuos para Coeficiente



Residuos vs. ajustes para Coeficiente



Prueba de varianzas iguales: Coeficiente vs. Tratamiento

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándares

Tratamiento	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
B	3	0,0001286	0,0002814	0,0030766
L	3	0,0006764	0,0014799	0,0161777
M	3	0,0005457	0,0011941	0,0130533

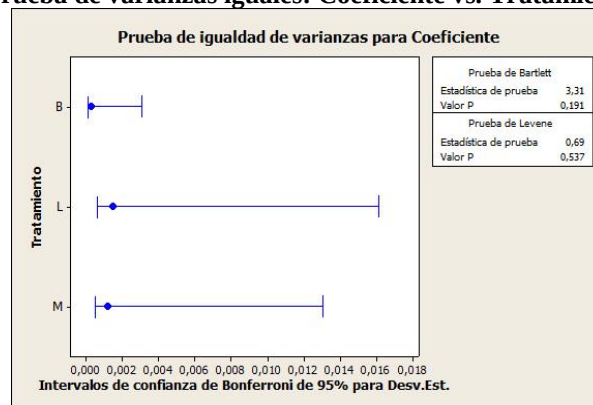
Prueba de Barlett (distribución normal)

Estadística de prueba = 3,31. valor p = 0,191

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)

Estadística de prueba = 0,69. valor p = 0,537

Prueba de varianzas iguales: Coeficiente vs. Tratamiento



Modelo lineal general: Coeficiente vs. Tratamiento

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	fijo	4	B. L. M. T

Análisis de varianza para Coeficiente, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamiento	3	0,0000499	0,0000499	0,0000166	9,31	0,005
Error	8	0,0000143	0,0000143	0,0000018		

Total 11 0,0000642

S = 0,00133632 R-cuad. = 77,74% R-cuad.(ajustado) = 69,40%

95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

Variable de respuesta Coeficiente

Comparaciones con el nivel de control

Tratamiento = T restado a:

Tratamiento	Inferior	Centrada	Superior
B	-0,004803	-0,001661	0,001481
L	-0,001077	0,002065	0,005207
M	-0,006597	-0,003455	-0,000313

Tratamiento	-----+-----+-----+-----
B	(-----*-----)
L	(-----*-----)
M	(-----*-----)
	-----+-----+-----+-----
	-0,0035 0,0000 0,0035

Pruebas simultáneas de Dunnett

Variable de respuesta Coeficiente

Comparaciones con el nivel de control

Tratamiento = T restado a:

Tratamiento	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
B	-0,001661	0,001091	-1,522	0,3525
L	0,002065	0,001091	1,893	0,2130
M	-0,003455	0,001091	-3,166	0,0328

ANOVA unidireccional: Coeficiente vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	0,0000499	0,0000166	9,31	0,005
Error	8	0,0000143	0,0000018		
Total	11	0,0000642			

S = 0,001336 R-cuad. = 77,74% R-cuad.(ajustado) = 69,40%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
B	3	0,004698	0,000281	(-----*-----)
L	3	0,008425	0,001480	(-----*-----)
M	3	0,002905	0,001194	(-----*-----)
T	3	0,006359	0,001857	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----
				0,0025 0,0050 0,0075 0,0100

Desv.Est. agrupada = 0,001336

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%

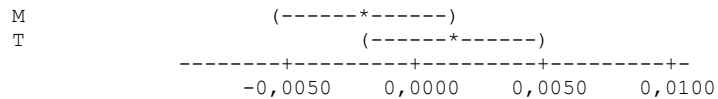
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 98,74%

Tratamiento = B restado de:

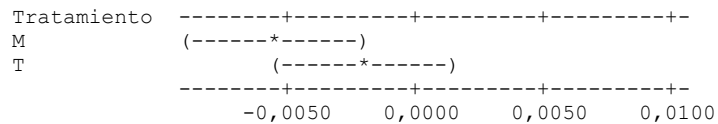
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
L	0,000231	0,003726	0,007221
M	-0,005289	-0,001794	0,001701
T	-0,001834	0,001661	0,005156

Tratamiento	-----+-----+-----+-----
L	(-----*-----)



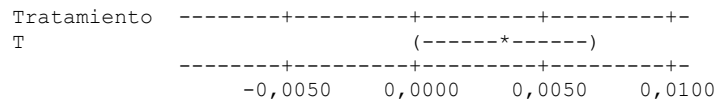
Tratamiento = L restado de:

Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
M	-0,009015	-0,005520	-0,002025
T	-0,005560	-0,002065	0,001430



Tratamiento = M restado de:

Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
T	-0,000040	0,003455	0,006950



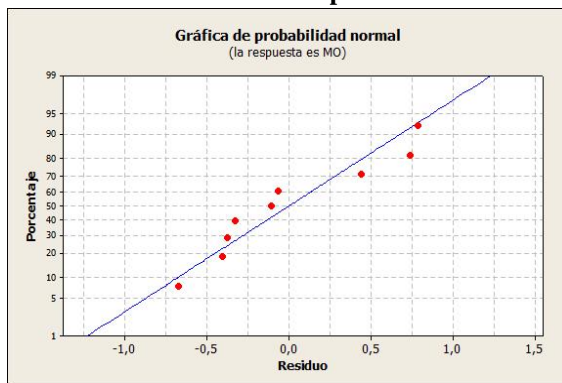
MATERIA ORGÁNICA

ANOVA de dos factores: MO vs. Bloque. Tratamiento

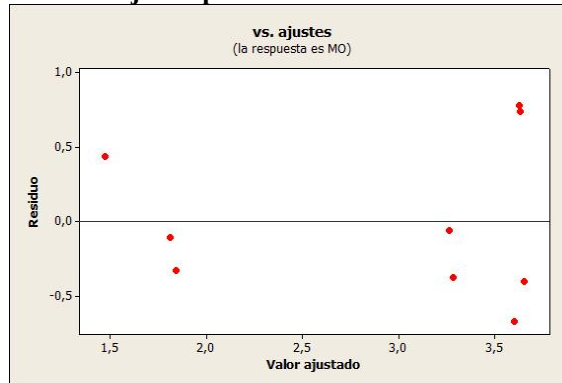
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Bloque	2	0,25340	0,12670	0,23	0,807
Tratamiento	2	6,51687	3,25843	5,83	0,065
Error	4	2,23553	0,55888		
Total	8	9,00580			

S = 0,7476 R-cuad. = 75,18% R-cuad. (ajustado) = 50,35%

Gráfica normal de residuos para MO



Residuos vs. ajustes para MO



Prueba de varianzas iguales: MO vs. Tratamiento

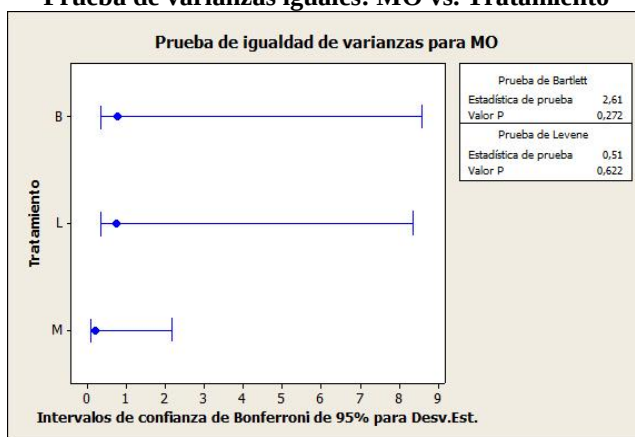
Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándares

Tratamiento	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
B	3	0,359441	0,786469	8,59734
L	3	0,349831	0,765441	8,36748
M	3	0,091444	0,200083	2,18723

Prueba de Barlett (distribución normal)
Estadística de prueba = 2,61. valor p = 0,272

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)
 Estadística de prueba = 0,51. valor p = 0,622

Prueba de varianzas iguales: MO vs. Tratamiento



Modelo lineal general: MO vs. Tratamiento

Factor Tipo Niveles Valores
 Tratamiento fijo 4 B. L. M. T

Análisis de varianza para MO, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamiento	3	15,9725	15,9725	5,3242	16,15	0,001
Error	8	2,6371	2,6371	0,3296		
Total	11	18,6096				

S = 0,574144 R-cuad. = 85,83% R-cuad.(ajustado) = 80,52%

95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

Variable de respuesta MO

Comparaciones con el nivel de control

Tratamiento = T restado a:

Tratamiento	Inferior	Centrada	Superior
B	1,3134	2,6633	4,013
L	1,2900	2,6400	3,990
M	-0,5033	0,8467	2,197

Tratamiento	---+-----+-----+-----+---
B	(-----*-----)
L	(-----*-----)
M	(-----*-----)
	---+-----+-----+-----+---
	0,0 1,5 3,0 4,5

Pruebas simultáneas de Dunnett

Variable de respuesta MO

Comparaciones con el nivel de control

Tratamiento = T restado a:

Tratamiento	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
B	2,6633	0,4688	5,681	0,0012
L	2,6400	0,4688	5,632	0,0013
M	0,8467	0,4688	1,806	0,2406

ANOVA unidireccional: MO vs. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	3	15,972	5,324	16,15	0,001
Error	8	2,637	0,330		
Total	11	18,610			

S = 0,5741 R-cuad. = 85,83% R-cuad.(ajustado) = 80,52%

				ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada	
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+	
B	3	3,5233	0,7865		(-----*-----)
L	3	3,5000	0,7654		(-----*-----)
M	3	1,7067	0,2001	(-----*-----)	
T	3	0,8600	0,2722	(-----*-----)	
				-----+-----+-----+-----+	
				1,2	2,4 3,6 4,8

Desv.Est. agrupada = 0,5741

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento

Nivel de confianza individual = 98,74%

Tratamiento = B restado de:

Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
L	-1,5249	-0,0233	1,4783
M	-3,3183	-1,8167	-0,3151
T	-4,1649	-2,6633	-1,1617

Tratamiento	-----+-----+-----+-----+--			
L		(-----*-----)		
M	(-----*-----)			
T	(-----*-----)			
-----+-----+-----+-----+--				
-2,5 0,0 2,5 5,0				

Tratamiento = L restado de:

Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
M	-3,2949	-1,7933	-0,2917
T	-4,1416	-2,6400	-1,1384

Tratamiento	-----+-----+-----+-----+--			
M	(-----*-----)			
T	(-----*-----)			
-----+-----+-----+-----+--				
-2,5 0,0 2,5 5,0				

Tratamiento = M restado de:

Tratamiento	Inferior	Centro	Superior
T	-2,3483	-0,8467	0,6549

Tratamiento	-----+-----+-----+-----+--			
T	(-----*-----)			
-----+-----+-----+-----+--				
-2,5 0,0 2,5 5,0				

DENSIDAD APARENTE

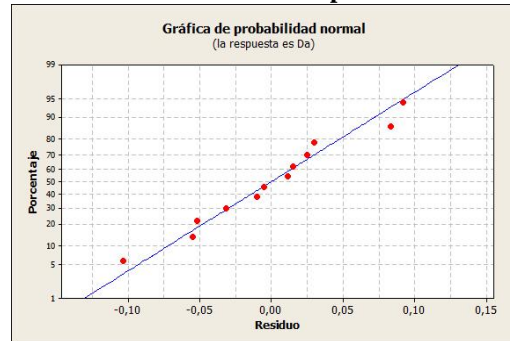
ANOVA de dos factores: Da vs. Bloque. Tratamiento

Fuente	GL	SC	MC	F	P
BLOQUE	2	0,0075696	0,0037848	0,56	0,612

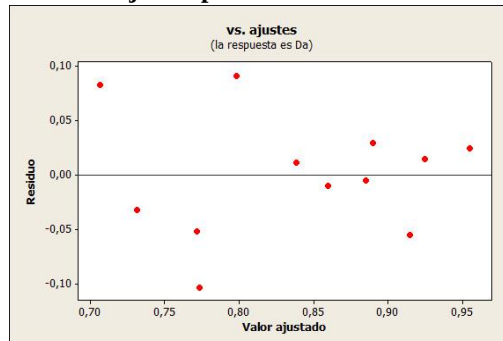
TRATAMIENTO	2	0,0336409	0,0168205	2,47	0,200
Error	4	0,0272031	0,0068008		
Total	8	0,0684136			

S = 0,08247 R-cuad. = 60,24% R-cuad.(ajustado) = 20,47%

Gráfica normal de residuos para Da



Residuos vs. ajustes para Da



Modelo lineal general: Da vs. Tratamiento

Factor	Tipo	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	fijo	4	B. L. M. T

Análisis de varianza para Da, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
TRATAMIENTO	3	0,061873	0,061873	0,020624	3,98	0,053
Error	8	0,041471	0,041471	0,005184		
Total	11	0,103345				

S = 0,0719995 R-cuad. = 59,87% R-cuad.(ajustado) = 44,82%

Observaciones inusuales de Da

Obs	Da	Ajuste	Ajuste SE	Residuo	Residuo estándar
7	0,673401	0,805224	0,041569	-0,131824	-2,24 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

Variable de respuesta Da

Comparaciones con el nivel de control

TRATAMIENTO = T restado a:

TRATAMIENTO	Inferior	Centrada	Superior
B	-0,3531	-0,1838	-0,01449
L	-0,2872	-0,1179	0,05140
M	-0,2037	-0,0344	0,13492

TRATAMIENTO	-----+-----+-----+-----+--
B	(-----*-----)
L	(-----*-----)
M	(-----*-----)
	-----+-----+-----+-----+--
	-0,30 -0,15 0,00 0,15

Pruebas simultáneas de Dunnett

Variable de respuesta Da

Comparaciones con el nivel de control

TRATAMIENTO = T restado a:

TRATAMIENTO	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
B	-0,1838	0,05879	-3,126	0,0348
L	-0,1179	0,05879	-2,005	0,1814

M -0,0344 0,05879 -0,585 0,8859

Prueba de varianzas iguales: Da vs. TRATAMIENTO

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándares

TRATAMIENTO	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
B	3	0,0196015	0,044159	0,55769
L	3	0,0513627	0,115711	1,46135
M	3	0,0200852	0,045248	0,57145
T	3	0,0256894	0,057874	0,73090

Prueba de Barlett (distribución normal)
Estadística de prueba = 2,31. valor p = 0,511

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)
Estadística de prueba = 0,42. valor p = 0,742

ANOVA unidireccional: Da vs. TRATAMIENTO

Fuente	GL	SC	MC	F	P
TRATAMIENTO	3	0,06187	0,02062	3,98	0,053
Error	8	0,04147	0,00518		
Total	11	0,10334			

S = 0,07200 R-cuad. = 59,87% R-cuad.(ajustado) = 44,82%

ICs de 95% individuales para la media
basados en Desv.Est. agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.
B	3	0,7393	0,0442
L	3	0,8052	0,1157
M	3	0,8887	0,0452
T	3	0,9231	0,0579

Desv.Est. agrupada = 0,0720

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de TRATAMIENTO

Nivel de confianza individual = 98,74%

TRATAMIENTO = B restado de:

TRATAMIENTO	Inferior	Centro	Superior
L	-0,12242	0,06589	0,25419
M	-0,03890	0,14941	0,33772
T	-0,00452	0,18378	0,37209

TRATAMIENTO	Inferior	Centro	Superior
L	-0,12242	0,06589	0,25419
M	-0,03890	0,14941	0,33772
T	-0,00452	0,18378	0,37209

TRATAMIENTO = L restado de:

TRATAMIENTO	Inferior	Centro	Superior
M	-0,10478	0,08352	0,27183
T	-0,07041	0,11790	0,30620

TRATAMIENTO	Inferior	Centro	Superior
M	-0,10478	0,08352	0,27183
T	-0,07041	0,11790	0,30620

TRATAMIENTO = M restado de:

TRATAMIENTO	Inferior	Centro	Superior
T	-0,15394	0,03437	0,22268

TRATAMIENTO	-0,20	0,00	0,20	0,40
T	(-----*-----)			

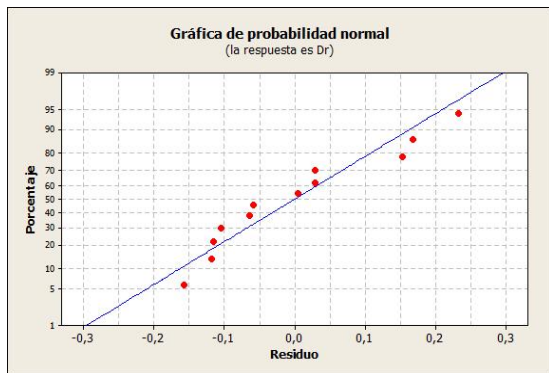
DENSIDAD REAL

ANOVA de dos factores: Dr vs. BLOQUE. TRATAMIENTO

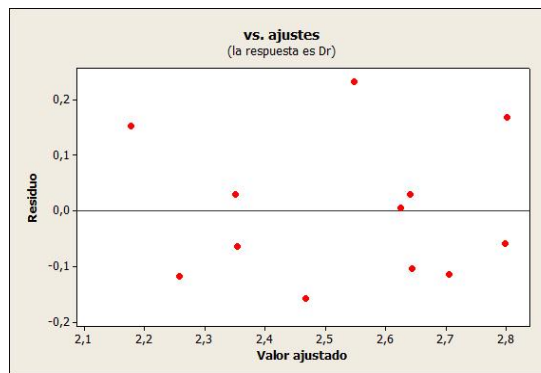
Fuente	GL	SC	MC	F	P
BLOQUE	2	0,307743	0,153871	8,97	0,033
TRATAMIENTO	2	0,058730	0,029365	1,71	0,290
Error	4	0,068646	0,017161		
Total	8	0,435119			

S = 0,1310 R-cuad. = 84,22% R-cuad. (ajustado) = 68,45%

Gráfica normal de residuos para Dr



Residuos vs. ajustes para Dr



HUM
EDA
D
ANO

VA de dos factores: HUMEDAD vs. BLOQUE. TRATAMIENTO

Fuente	GL	SC	MC	F	P
BLOQUE	2	11,3856	5,69282	1,10	0,415
TRATAMIENTO	2	0,4507	0,22534	0,04	0,958
Error	4	20,6129	5,15322		
Total	8	32,4492			

S = 2,270 R-cuad. = 36,48% R-cuad. (ajustado) = 0,00%

Modelo lineal general: HUMEDAD vs. TRATAMIENTO

Factor	Tipo	Niveles	Valores
TRATAMIENTO	fijo	4	B. L. M. T

Análisis de varianza para HUMEDAD, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
TRATAMIENTO	3	87,60	87,60	29,20	1,26	0,351
Error	8	185,40	185,40	23,18		
Total	11	273,00				

S = 4,81407 R-cuad. = 32,09% R-cuad. (ajustado) = 6,62%

Observaciones inusuales de HUMEDAD

Obs	HUMEDAD	Ajuste	Ajuste SE	Residuo	Residuo estándar
-----	---------	--------	-----------	---------	------------------

10	53,6472	44,9306	2,7794	8,7167	2,22 R
12	36,1319	44,9306	2,7794	-8,7987	-2,24 R

R denota una observación con un residuo estandarizado grande.

95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

Variable de respuesta HUMEDAD

Comparaciones con el nivel de control

TRATAMIENTO = T restado a:

TRATAMIENTO	Inferior	Centrada	Superior
B	-17,55	-6,233	5,087
L	-17,81	-6,493	4,826
M	-17,26	-5,945	5,374

TRATAMIENTO	-----+-----+-----+-----+--
B	(-----*-----)
L	(-----*-----)
M	(-----*-----)
	-----+-----+-----+-----+--
	-14,0 -7,0 0,0 7,0

Pruebas simultáneas de Dunnett

Variable de respuesta HUMEDAD

Comparaciones con el nivel de control

TRATAMIENTO = T restado a:

TRATAMIENTO	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
B	-6,233	3,931	-1,586	0,3245
L	-6,493	3,931	-1,652	0,2971
M	-5,945	3,931	-1,512	0,3571

Prueba de varianzas iguales: HUMEDAD vs. TRATAMIENTO

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándares

TRATAMIENTO	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
B	3	1,22322	2,75568	34,802
L	3	0,89207	2,00967	25,381
M	3	0,92758	2,08967	26,391
T	3	3,88756	8,75796	110,607

Prueba de Barlett (distribución normal)

Estadística de prueba = 5,52. valor p = 0,137

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)

Estadística de prueba = 1,71. valor p = 0,241