



EVOLUCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO ASOCIADAS A LA EROSIÓN HÍDRICA EN ZONA DE LADERA (CÁRCAVA) BAJO LA APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS

DIANA MARCELA CUERO PABON

**SANTIAGO DE CALI
2015**



UNIVERSIDAD DEL VALLE

**EVOLUCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO ASOCIADAS A LA
EROSIÓN HÍDRICA EN ZONA DE LADERA (CÁRCAVA) BAJO LA
APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA
AGRÍCOLA**

DIANA MARCELA CUERO PABÓN

Directora del Proyecto

DIANA MARÍA DELGADO LONDOÑO

Ingeniera Agrónoma M.Sc.

Co Director del Proyecto

RAUL MADRIÑAN MOLINA. I.A.Ph.D

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

SANTIAGO DE CALI DE 2015

*D*EDICADA A MIS PADRES POR SU
AMOR, SACRIFICIO Y COMPAÑÍA TOTAL
EN TODO MOMENTO, GRACIAS
INFINITAS A DIOS POR PERMITIR
TENERLOS A MI LADO EN CADA
TRIUNFO Y DIFICULTAD DE MI VIDA
LOS AMOS

*A*GRADEZCO A DIOS POR DARMÉ SABIDURIA
PARA IR CUMPLIENDO MIS OBJETIVOS, A MI
DIRECTORA DE TESIS DIANA MARÍA DELGADO Y
A MI COMPAÑERA JENNY CARABALÍ A QUIENES
CONSIDERÓ MIS AMIGAS, GRACIAS POR SU
SOBRESFUERZO, ACOMPAÑAMIENTO Y AYUDA
PARA EL DESARROLLO DE ESTE PROYECTO;
TAMBIÉN AGRADEZCO A MI FAMILIA Y AMIGOS
EN ESPECIAL A KATHERINE GÓMEZ POR SU
COLABORACIÓN Y COMPRENSIÓN, A LOS
PROFESORES QUE FUERON PARTICIPES DE MI
EDUCACIÓN EN TODOS ESTOS AÑOS Y A LAS
INSTITUCIONES QUE OFRECIERON SUS
INSTALACIONES PARA MI FORMACIÓN COMO
INGENIERA AGRÍCOLA
GRACIAS A TODOS

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	3
1. OBJETIVOS	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1. La Degradación De Los Suelos	11
2.2. Erosión Hídrica.....	12
2.3. Erosión En Cárcavas.....	12
2.4. Factores Que Intervienen En La Erosión.....	13
2.5. Aspectos Físicos Del Suelo Asociados A La Erosión	13
2.6. Modelos De Pérdida De Suelo O Erosión	15
2.7. Análisis Dimensional.....	15
2.8. Materia Orgánica Y Enmiendas Orgánicas En El Control De La Erosión.....	16
3. METODOLOGÍA.....	18
3.1. Ubicación Del Terreno De Estudio	18
3.2. Ubicación Experimental	18
3.3. DIAGNÓSTICO	4
3.3.1. Recopilación y Selección de Información.....	4
3.4. CAMPO	4
3.4.1. Reconocimiento.....	4
3.4.2. Muestreo de la Matriz Ambiental (Bloque de Suelo)	6
3.5. LABORATORIO	9
3.5.1. Diseño Experimental	9
3.5.2. Selección	10
3.5.3. Determinación	15
3.5.4. Evaluación.....	16

4. RESULTADOS Y ANALISIS	20
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
REFERENCIAS	39
ANEXO 1 Levantamiento De La Zona Afectada Por Erosión En El Barrio El Retiro Corregimiento De Pavas	43
ANEXO 2 Fofos Del Proyecto	44
ANEXO 3 Procedimiento Estadístico.....	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Algunos estudios sobre el tema de erosión con un enfoque en la física del suelo. .	9
Tabla 2. Causas, procesos e impacto de la degradación del suelo; Fuente:(FAO, 2000) citado por (Madero, Valenzuela, Castro, Garcia, & Osorio, 2013).....	11
Tabla 3. Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Municipio de la Cumbre, (Corregimiento Pavas); Fuente: (IGAC, 2004)	5
Tabla 4. Variables respuesta a medir en laboratorio; Fuente:(Autor, 2014)	7
Tabla 5. Rango de variación de los contenidos de arena, limo y arcilla en las diferentes clases texturales de suelos; Fuente: (Jaramillo D, 2002).	8
Tabla 6. Datos de DPM para la interpretación de la estabilidad de los agregados; Fuente: (IGAC, 1990) citado por (Jaramillo D, 2002).....	9
Tabla 7. Calificación de la porosidad total del suelo; Fuente: (Kaurichev, 1984) citado por (Jaramillo D, 2005).	9
Tabla 8. Estándares generales para interpretar análisis químicos de suelos con fines agrícolas; Fuente: Castro y Gomez 2009 citados por (Madero, y otros, 2013).....	11
Tabla 9. Estándares generales para interpretar el pH; Fuente: Castro y Gomez 2009 citados por (Madero, y otros, 2013).	11
Tabla 10. Requerimientos que debe cumplir una enmienda orgánica para ser implementada; fuente: (Tecnicoagropecuaria, 2013).....	11
Tabla 11. Tratamientos implementados en los bloques de suelo; Fuente: (Autor, 2014).....	12
Tabla 12. Recomendaciones de la dosis por ha de enmienda a aplicar; Fuente: (Autor, 2014).....	12
Tabla 13. Dosis de las enmiendas por zona; Fuente: (Autor, 2014).....	12
Tabla 14. Dosis de las enmiendas para cada parcela en cada zona; Fuente: (Autor, 2014)	13
Tabla 15. Dosis de la mezcla para la enmienda mineral, para cada parcela; Fuente: (Autor, 2014).....	13
Tabla 16. Variables respuesta y variables a controlar en el estudio; Fuente: (Autor, 2014)	15
Tabla 17. Monitoreo de las variables en el estudio; Fuente: (Autor, 2014)	15
Tabla 18. Diseño estadístico para analizar las variables respuesta a los tratamientos en cada zona de la cárcava; Fuente: (Autor, 2014).	16
Tabla 19. Caracterización Física de las propiedades incluidas en el estudio de la Cárcava; Fuente (Autor, 2014)	20
Tabla 20. Caracterización químicos de la cárcava; Fuente (Autor, 2014).....	20
Tabla 21. Datos de humedad, % de Materia orgánica y boro de las enmiendas orgánicas implementadas; Fuente (Autor, 2014).....	22
Tabla 22. Caracterización de las variables físicas (respuesta) obtenidos en el experimento bajo la influencia de las enmiendas; S: zona superior, M: zona media; B: zona baja; T: testigo; TM: tratamiento mineral; TB: tratamiento búfalaza; TL: tratamiento lombricomposteo; parámetros controlados S: pendiente y C: cobertura vegetal; (duración 4 meses en invernadero) Fuente: (Autor, 2015).....	23

Tabla 23. Valores de Fisher y P valor para la interpretación estadística; Fuente (Autor, 2015).....	26
Tabla 24. Variables que presentan o no presentan diferencia significativa entre los tratamientos y en los bloques; Fuente (Autor, 2015)	27
Tabla 25. Datos iniciales y finales de profundidad y volumen de suelo en las cajas. Bajo la influencia de las enmiendas; S: zona superior, M: zona media; B: zona baja; T: testigo; TM: tratamiento mineral; TB: tratamiento búfalaza; TL: tratamiento lombricompuesto; Fuente: (Autor, 2015).....	30
Tabla 26. Datos adimensionales de la pérdida de suelo en función de los parámetros adimensionales de DPM, D_a y D_r ; donde Y^* , X^* y X^{**} designa adimensional; Fuente: (Autor, 2015).....	31
Tabla 27. Datos estimados en % de la diferencia de pérdida de volumen de suelo de los tratamientos respecto al testigo; T: testigo; M: mineral; B: búfalaza; L: lombricompuesto; S (pendiente) y C (cobertura vegetal) constantes; Fuente (Autor, 2015).....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa mundial de la degradación de los suelos; Fuente:(GRID, 2001).	4
Figura 2. Mapa mundial de la erosión hídrica; Fuente: (UNEP, 1994).....	4
Figura 3. Esquema Metodológico del proyecto; Fuente: (Autor, 2014).....	3
Figura 4. Ubicación de las parcelas y puntos de muestreo en la cárcava; Fuente: (Autor, 2014).....	6
Figura 5. Muestreo del bloque de suelo; Fuente: (Autor, 2014)	7
Figura 6. Generalizaciones de las clases texturales del suelo, según el USDA. A: Familias texturales. B: Grupos texturales (Tomado de mejía, 1983); Fuente: (Jaramillo D, 2002).....	8
Figura 7. Caja para perfil de suelo; (Jaramillo R. , 2014)	10
Figura 8. Prototipo Simulador de Pendientes; (Jaramillo R. , 2014).....	10
Figura 9. Forma en que se realizó la siembra en el bloque de suelo; Fuente: (Autor, 2014).	14
Figura 10. Levantamiento de la zona afectada por erosión en el Barrio el retiro, Corregimiento de Pavas; Escala 1:500 Fuente: (Sandoval, 2014)	43
Figura 11. Prueba de estabilidad de agregados, laboratorio de suelos- Nacional –Palmira; Fuente (Autor, 2015)	44
Figura 12. Mesa se arena para porosidad y densidad aparente; Fuente (Autor, 2015).....	44
Figura 13. Equipo para densidad real; Fuente (Autor, 2015).....	44
Figura 14. Disposición de las cajas con suelo en el simulador de pendientes; Fuente (Autor, 2015)	45
Figura 15. Inicio de germinación de la siembra; Fuente (Autor, 2015)	46
Figura 16. Bloque de suelos pasado 2 meses; Fuente (Autor, 2015)	46
Figura 17. Bloque de suelo pasado 3 meses y medio; Fuente (Autor, 2015)	47
Figura 18. Cobertura vegetal germinada en el T y el TM; Fuente (Autor, 2015)	47
Figura 19. Cobertura vegetal germinada en el TL y el TB; Fuente (Autor, 2015).....	47
Figura 20. Residuos vs Ajustes para DPM	Figura 21. Probabilidad Normal para DPM
	48
Figura 22. Prueba de igualdad de varianzas para DPM	49
Figura 23. Residuos vs Ajustes para humedad	Figura 24. Probabilidad normal para humedad
	50
Figura 25. Prueba de igualdad de varianzas para la humedad.....	52
Figura 26. Residuos vs Ajustes para Da	Figura 27. Probabilidad normal para Da
	52
Figura 28. Prueba de igualdad de varianzas para Da	54
Figura 29. Residuos vs Ajustes para Dr	Figura 30. Probabilidad normal para Dr.....
	55
Figura 31. Prueba de igualdad de varianzas para Dr	55

Figura 32. Residuos vs Ajustes para MO.....	56
Figura 33. Probabilidad normal para la MO.....	56
Figura 34. Prueba de igualdad de varianzas para MO.....	57

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Comparación de las medias de la Da para cada tratamiento; si las barras tiene la misma letra significa similitud en los tratamientos para la Da; si las barras no comparten letra significa diferencia significativa en los tratamientos para los valores de Da. T: Tratamiento testigo; M: Tratamiento mineral; L: Tratamiento Lombricompuesto; B: Tratamiento Búfalaza.....	29
Grafica 2. Comparación de las medias de la MO para cada tratamiento; si las barras tienen la misma letra significa similitud en los tratamientos para la MO; si las barras no comparten letra significa diferencia significativa en los tratamientos para los valores de MO. T: Tratamiento testigo; M: Tratamiento mineral; L: Tratamiento Lombricompuesto; B: Tratamiento Búfalaza.....	29
Grafica 3. Estimación de la perdida de suelo en fusión de las variable adimensional DPM bajo la influencia de enmiendas: T: testigo; M: mineral; B: búfalaza L: lombricompuesto; S (pendiente) y C (cobertura vegetal) constantes; Fuente: (Autor, 2015).....	32
Grafica 4. Estimación de la perdida de suelo en fusión de las variable adimensional DPM bajo la influencia de enmiendas: T: testigo; M: mineral; B: búfalaza; L: lombricompuesto; Constantes S (pendiente) y C (cobertura vegetal).....	33

INTRODUCCIÓN

El Atlas del Mundo de Desertificación (World Atlas of Desertification; UNEP, 1992), señala a partir de datos del GLASOD (Global Assessment of Soil Degradation Database) que la degradación de tierras se debe en un 48% a procesos de erosión hídrica, que la erosión eólica es responsable del 39% y que a la degradación química y física del suelo (chemical and physical deterioration) corresponden al 10% y 4% respectivamente (Ibáñez, 2006).

De los 49'500,000 de habitantes que se estima tiene Colombia, el 78% de la población se encuentra localizada en las regiones de ladera y pequeños valles intramontañosos, debido a factores de orden histórico, socioeconómicos, climático y a la productividad alta de los suelos. La formación de un centímetro de suelo en condiciones naturales, puede tardar entre 100 a 400 años aproximadamente (Rivera H, 2004) por lo que se considera al mismo como un recurso valioso para la vida del ser humano y su pérdida debida a los diferentes procesos de alteración en las zonas de ladera, es un problema que amenaza fuertemente la base de nuestra alimentación y obliga al ser humano como principal causante, a desarrollar métodos de recuperación o control de este proceso.

Lo anterior ha conducido a que en diferentes países los investigadores en esta área busquen la forma de cuantificar la pérdida de suelo producida por la erosión hídrica, con el fin de predecir niveles tolerables de pérdida de suelo bajo determinadas condiciones (lluvia, suelos, pendiente, cultivos) lo que facilitaría la selección de prácticas integrales de conservación de suelos y aguas (prácticas agronómicas, obras civiles, construcciones, conducción de aguas de escorrentía, etc.), para diferentes usos del suelo y para su protección, a los niveles de finca y cuenca hidrográfica.

En las zonas de ladera colombiana la lluvia es el agente activo natural principal de la erosión, debido a la frecuencia y a la energía cinética de los aguaceros por su intensidad alta. La erosión se ve favorecida, además, por las pendientes fuertes (mayores del 75%) y longitudes del terreno muy largas (mayores de 800 m) y la heterogeneidad y juventud de los suelos (entisoles e inceptisoles), en su mayoría susceptibles a la erosión (Federecafé, 1975).

La aparición de sistemas de cárcavas y de paisajes tipo badland se debe a la conjunción de eventos de lluvia torrencial sobre zonas con poca o nula cubierta de vegetación y sobre un determinado tipo de suelo y roca madre. La tipología del substrato y del movimiento del agua superficial y subsuperficial condicionan en gran medida la aparición de las cárcavas siendo frecuente su desarrollo sobre materiales arcillosos, limosos, regolitos, y arenas y conglomerados poco consolidados. No obstante, las actividades agrícolas y la deforestación asociadas son en muchos casos el factor desencadenante de la erosión en canales de incisión que dan lugar a la aparición de cárcavas (Menéndez, 2007).

En el proceso de erosión hídrica se debería tener en cuenta la interacción del proceso físico químico y biológico del suelo con la física del agua desde el punto de vista pluvial, de escorrentía e infiltración, con el fin de evaluar y comprender de mejor manera el proceso de la erosión hídrica en un estado de degradación avanzado como lo son las cárcavas, de tal forma que se puedan implementar mecanismos de control asociado a los residuos orgánicos ya que su utilización como enmiendas al suelo puede ser una solución a este problema (Joergensen, 1996). Estos mecanismos es importante dirigirlos al hallazgo de parámetros adimensionales como herramientas para asociar las variables involucradas en este fenómeno en una función matemática razonable, es decir que sea aplicable con el uso de Leyes de escala, correctamente definidas y que influyan directamente en el proceso de erosión hídrica.

El proyecto que se propone es importante porque permitirá identificar y evaluar algunos de los factores que gobiernan el proceso de erosión con un enfoque en la física del suelo es decir cuantificar variables como la densidad aparente, densidad real, estabilidad de agregados, humedad y materia orgánica dentro de un estudio que propone encontrar una aproximación de escala de la estimación de la pérdida de suelo en función de las variables mencionadas bajo la influencia de enmiendas orgánicas y condiciones controladas en laboratorio de pendiente y cobertura vegetal; con la idea de tener una base para futuros estudios en los cuales se generen diseños de simuladores o en general equipos que estudien la interacción del proceso físico del suelo, la precipitación, la escorrentía y la infiltración, a diferentes variaciones de pendientes, dosis de enmiendas y coberturas vegetales, formulando modelos matemáticos que permitan agrupar los factores considerados importantes en el análisis y generalizarlos para cualquier tipo de condición, o bien para una zona en particular que este presentando problemas de erosión.

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El problema de la degradación del suelo no es un descubrimiento de nuestra civilización, pues ya quedaba registrado en los documentos de los romanos y de los griegos: Así ya Platón describía la destrucción del suelo como resultado de las deforestaciones. No obstante en un principio el problema no era apremiante debido a la escasa densidad de población y al hecho de que las civilizaciones primitivas se establecían en las llanuras próximas a los ríos (suelos fértiles, con abundante agua y fácil comunicación). La exagerada explosión demográfica actual ha provocado la roturación de tierras en relieves cada vez con pendientes más fuertes, fuertemente degradables, y como consecuencia frenar la degradación del suelo se ha convertido en uno de los grandes retos de nuestra civilización.

Las consecuencias de la erosión no sólo afectan al lugar donde ésta se localiza, sus efectos alcanzan zonas mucho más extensas. Los arrastres procedentes de la erosión inciden negativamente en los ríos. Las aguas se cargan de sedimentos, dando lugar a que la profundidad de los cauces disminuya, desborden con mayor frecuencia y acaben por cambiar su dirección produciendo graves daños en las explotaciones agrícolas. Además, la destrucción de la cubierta vegetal de las zonas montañosas, acentúa el riesgo de graves catástrofes causadas por fenómenos torrenciales e inundaciones. Por último, la sedimentación puede producir colmatación de embalses, pérdida de fertilidad de las tierras, obstrucción de las vías de comunicación y fenómenos de eutrofización (Montesinos , 1999).

La primera conferencia de las Naciones Unidas del Ambiente Humano, realizada en Estocolmo en 1972, fue inspirada como consecuencia del peligroso avance del deterioro de los recursos renovables. Como resultado de esta reunión nació el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente “UNEP”.

Posteriormente se realiza en 1974, una reunión de consultores especialistas en degradación de suelos convenida entre FAO y UNEP, en Roma, recomendó que una evaluación de la degradación actual y potencial de suelos debería hacerse en colaboración con Unesco, World Meteorological Organization “WMO” y el International Soil Society Science “ISSS”. Esta valoración debió basarse en la compilación de datos existentes y en la interpretación de los factores tales como clima, vegetación, suelo (características y manejo), topografía y tipo de utilización de la tierra, que influyen en la degradación del suelo.

Los resultados de esta evaluación se presentaron en un Mapa Mundial de la Degradación de los Suelos que se muestra a continuación.

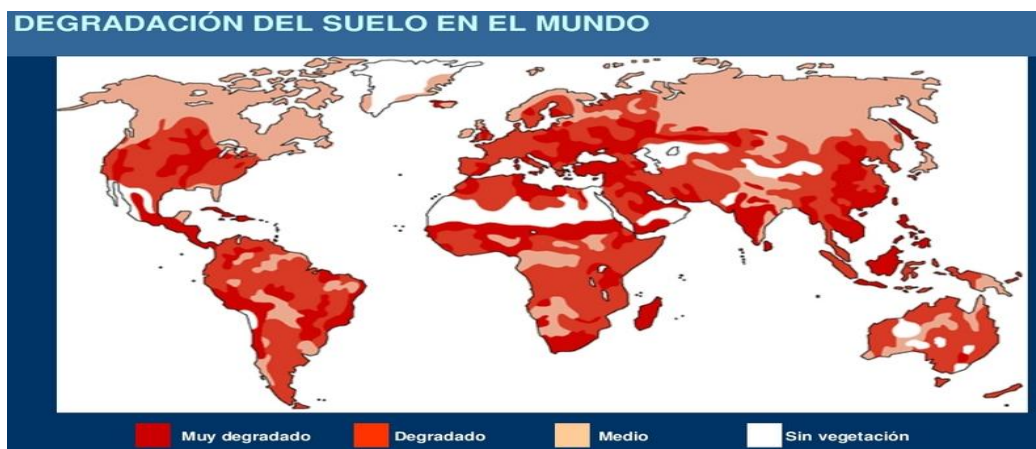
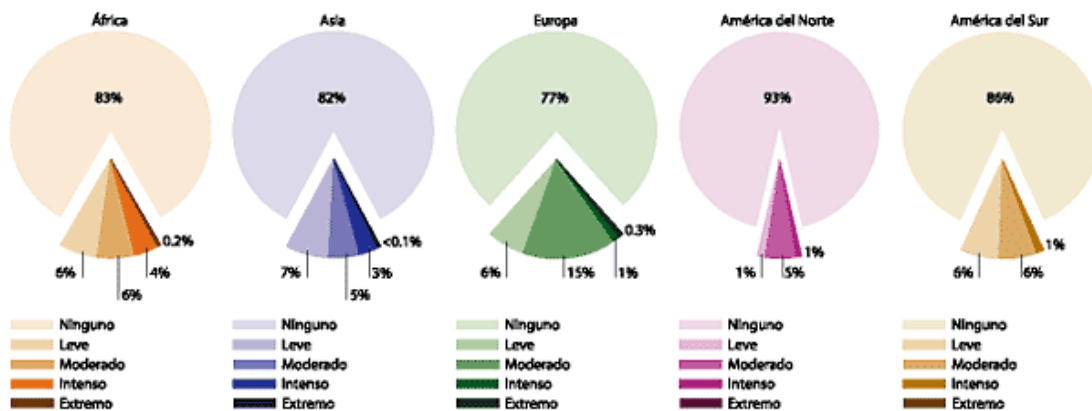


Figura 1. Mapa mundial de la degradación de los suelos; Fuente:(GRID, 2001).

Según el Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD, 1991), la erosión del suelo como proceso que afecta al mayor número de hectáreas, representa el 83,6% de toda la degradación (1.642 millones de hectáreas). Dentro de este proceso es la erosión hídrica el fenómeno más importante con un 55,7%, a continuación se muestra el mapa mundial de erosión hídrica desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente:

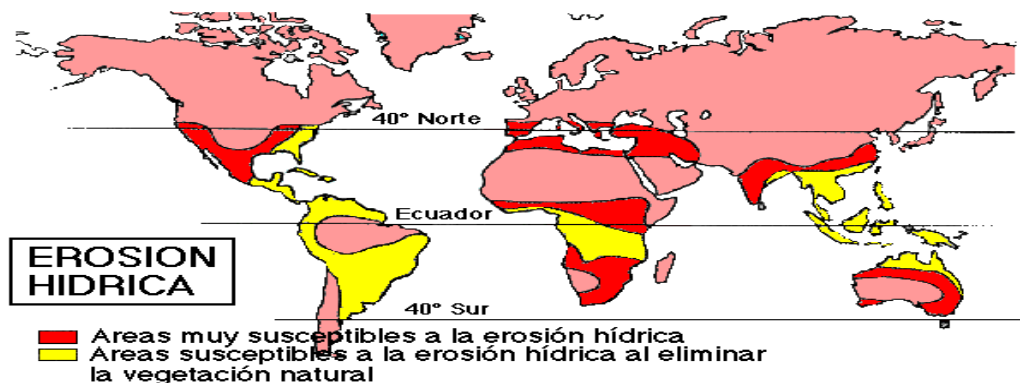


Figura 2. Mapa mundial de la erosión hídrica; Fuente: (UNEP, 1994)

A escala mundial, la pérdida de tierra agrícola por efectos de la erosión se estima entre 6 y 7 millones de toneladas por año, por pérdida adicional de 1,5 millones de hectáreas debido a las inundaciones, salinización o alcalinización (Cenicafé, 2010).

El problema de erosión en Colombia puede verse por los datos del (Instituto geográfico agustin codazzi , 1988) en los que se reporta un 49.5% del área nacional atacada con algún grado de erosión y de este porcentaje un 8.52% está atacado con un grado de erosión severo.

Según el IDEAM (2001) citado por (Madero, Valenzuela, Castro, Garcia, & Osorio, 2013), el 48% de la extensión continental en el año 2000 presento algún grado de degradación en las formaciones superficiales y de rocas, ya por erosión, remoción en masa o sedimentación. En dicho territorio, 14,25% presenta una muy alta degradación, el 10,8% una alta degradación, el 10,8% una degradación moderada, el 8,9% una degradación baja. Los departamentos que presentan una mayor degradación de suelos y tierras por erosión, remoción en masa y/o sedimentación en el terreno colombiano son: Atlántico (100%) y Guajira (93,8%), y en menor proporción Arauca (87,8%) y Casanare (94,8%).

En las Zonas de ladera en Colombia se presentan gran número de rocas diferentes, las cuales por su constitución física, química y mineralógica originan suelos con propiedades físicas y químicas distintas, que los hacen en mayor o menor grado resistentes o susceptibles a la degradación por erosión y movimientos masales. Así mismo factores como el grado de la pendiente desde planas (0 - 12%) hasta muy escarpadas (mayores del 75%) y su longitud desde (300 a 500 m) a muy largas (500 a 800 m), influyen igualmente en las pérdidas de suelos por erosión y en la formación de cárcavas profundas. Además, estas regiones se caracterizan por la presencia de lluvias de intensidades (intensidades máximas en treinta minutos de 66 a 86 mm/h) duración y frecuencia altas. El uso y el manejo de los suelos de estas regiones del país, no han sido los más adecuados. Por tanto, se obliga el hombre a estudiar algunos de los parámetros físicos químicos y biológicos de los suelos relacionados con los procesos degradativos más frecuentes en estas zonas de ladera como son la formación de cárcavas (Rivera J, 2002).

Desafortunadamente en Colombia no hay cifras actuales que muestren la magnitud del problema, algunos reportes afirman que más de 2,3 millones de hectáreas han dejado de ser aptas para la agricultura debido a la erosión (Cenicafé, 2010).

Especificando, en las laderas del Valle del Cauca, se presenta un desequilibrio ecológico causado principalmente por la deforestación, la degradación y la desestabilización de los suelos, impactando con ello otros recursos, principalmente el hídrico, acelerando asimismo procesos de erosión por el mal uso del suelo (Corpoica, 1999).

El problema es tan grave que sólo para este departamento la CVC (Reporte del grupo de trabajo de suelos y bosques de la CVC) menciona que hay un total de 238.474 ha con

grado de erosión severo (Cenicafé, 2010).

A nivel de Prevención de la Erosión y control de cárcavas y movimientos masales (erosión severa) la Fundación Centro de Investigación para Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), en Convenio con la Corporación Regional Autónoma del Valle del Cauca (C.V.C.) y la colaboración de las ONG's de cada región intervenida, desde 1982 a 2002 realizó investigaciones y aplicó tecnologías acordes con el medio, que permitieron mediante un trabajo comunitario a través de la Socialización, sensibilización, concientización y capacitación, restaurar suelos degradados severamente, con la participación de las comunidades afectadas.

Desde entonces los trabajos se han realizado en diferentes municipios del Departamento del Valle del Cauca, tales como: Argelia, Dagua, La Cumbre, Restrepo, Cuenca Alta del río Cali, Obando, Buga y El Cairo entre otros, para los cuales, se partió de un inventario y diagnóstico a la luz de las relaciones: material parental (roca) – suelo – grado y longitud de la pendiente – clima – planta – animal – infraestructura- hombre, lo que permitió determinar la relación causa – efecto de los diferentes procesos degradativos, e ir eliminando en forma prioritaria la mayor parte de las causas de las amenazas y vulnerabilidad, lo que permitió así aumentar en forma paulatina el factor de seguridad de las laderas y reducir el riesgo, lo que condujo a soluciones sencillas, rápidas, eficientes, no perecederas y de costos muy bajos (Sinisterra & Rivera , 2005). De lo anterior solo se accede a la parte de los resúmenes e introducción de los trabajos realizados, fotos, mas no se encuentra un documento que muestre el desarrollo de los trabajos, cifras, costos o situación actual, continuidad de lo que hallan realizado en algunos de los municipios intervenidos en el valle del cauca.

A nivel mas local encontramos algunos datos donde se encuentra la zona de estudio relacionados con el fenómeno erosivo que nos visualiza un poco el estado del municipio; se expone que el 41,23% del área total del municipio de la Cumbre presenta erosión moderada con tendencia a condiciones severas y/o muy severas, encontrándose altamente amenazada la estabilidad de los suelos.

En la subcuenca se localizan suelos muy susceptibles a la erosión, como lo son los derivados de cenizas volcánicas; la parte norte del municipio presenta áreas con erosión severa (13,12%) y muy severa (18,58%) y en zonas muy localizadas y áreas pequeñas se presenta una erosión ligera del (7,74%) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

Entre los principales factores que se han determinado en el municipio como los causantes de los procesos erosivos se tienen:

- Existencia de pendientes irregulares con altos grados de pendiente, generalmente mayores a 50%.
- Presencia de cultivos limpios y quemados indiscriminados.

- Práctica de ganadería extensiva.
- Prácticas tradicionales de agricultura tradicional no planificada.

Los resultados arrojados en la cuantificación de áreas erosionadas son alarmantes, ya que un porcentaje alto presenta procesos erosivos en diferentes grados; este hecho se agrava debido a que parte del área total posee erosión moderada con tendencia a aumentar. Esta situación constituye uno de los aspectos más relevantes para la recuperación y manejo del territorio municipal y subregional.

Todas las subcuencas requieran medidas de recuperación inmediatas, especialmente la del río Bitaco, ya que es la más crítica. Estos procesos erosivos se originan por factores naturales como las lluvias, los vientos, los procesos geológicos y factores antrópicos, como la deforestación, las prácticas inadecuadas en la agricultura y los malos diseños en vías y construcciones urbanas (Galeano, Bulding, & Andres, 2000).

La necesidad de encontrar alternativas de solución o prevención del fenómeno erosivo desde el punto de vista de aporte de materia orgánica y nutrientes para mejorar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo lleva a discutir la necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos y obliga a buscar alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura ecológica se le da gran importancia a los abonos orgánicos y cada vez más, se utilizan en los cultivos intensivos. Dentro de este tipo de agricultura, el manejo del suelo es trascendental y se relaciona con su mejoramiento en las características físicas, químicas y biológicas, en este sentido, este tipo de abonos juega un papel fundamental (Acosta, 2006).

El incremento en la generación de residuos orgánicos, acompañado de la disminución de los recursos naturales, crea la necesidad de reutilizar estos materiales. Los residuos se han definido como aquellos materiales generados en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado en el contexto en que son producidos, ningún valor económico, situación que se debe más que todo a la falta de una tecnología realmente adecuada para su aprovechamiento, así como a la inexistencia de un mercado para estos productos (Costa *et al.*, 1991) citado por (Acosta, 2006). Así, para los niveles de generación de residuos que se han alcanzado en la actualidad, no son suficientes los sistemas de eliminación tradicionales; por lo que la utilización de estos residuos como enmiendas al suelo, puede ser un aporte al mejoramiento del problema de la erosión y gestión de los mismos (Joergensen, 1996) citado por (Acosta, 2006).

Se entiende que es necesario el desarrollo de estudios que brinden alternativas de solución al fenómeno erosivo o por lo menos lo controlen. La comprensión de este proyecto depende en gran medida del conocimiento, investigación e interpretación de algunos factores que intervienen en el problema de la erosión hídrica con un enfoque en la física del suelo además de tener claro que aplicación va a tener la recuperación que se pretende hacer, se

deben tener en cuenta las variables físicas de mayor influencia en el proceso de degradación severa, así como las posibles técnicas de recuperación por medio de enmiendas orgánicas y minerales que cumplan con los requerimientos físicos y químicos que necesite el suelo para desarrollar coberturas vegetales propias o adaptadas, y métodos de evaluación de las técnicas utilizadas.

A continuación se presenta un punto de vista interesante sobre el enfoque que se les debería dar a algunos estudios donde se involucre fenómenos erosivos, y se expone la tabla 1 donde se evidencian algunos estudios relacionados con el tema en cuestión.

López, 2009 cita los siguientes autores para explicar que la investigación de “los procesos de erosión, transporte y exportación del suelo y sedimento en cárcavas se realiza generalmente a través de medidas directas en parcelas y cuencas monitorizadas (Castillo *et al.*, 2007; Desir y Marín, 2007) o indirectas mediante el análisis de cambios en la topografía (Ries y Marzloff, 2003) y en menor medida mediante modelización (e.g. Gordon *et al.*, 2007; Bou Kheir *et al.*, 2008). La escasez de estudios de modelización de la escorrentía y pérdida de suelo en cárcavas se debe, principalmente, a las limitaciones de los modelos aplicados, que en su mayoría representan procesos de erosión por salpicadura, laminar, en regueros y cárcavas efímeras, sin atender a la erosión que se produce en canales, cárcavas permanentes, piping o movimientos en masa” (de Vente *et al.*, 2008) citado por (López, 2009).

Autor(es)	Método	Conclusión
(Mbagwu, 1992)	Evaluó los efectos de la adición de abonos orgánicos (estiércol de aves de corral) sobre las propiedades físicas de un Ultisol degradado en Nigeria.	Encontró que en comparación con el suelo tratado con fertilizantes orgánicos, la aplicación de estiércol de aves de corral disminuyó la densidad aparente, aumento la lámina total de agua disponible en el suelo y aumento considerablemente las concentraciones residuales de materia orgánica del suelo.
(Obi & Ebo, 1995)	Evaluaron los efectos de los abonos orgánicos (gallinaza) e inorgánicos en las propiedades físicas en un suelo arenoso muy degradado en el sur de Nigeria.	Encontraron que la adición de gallinaza (10 Ton/ha), ocasiono una disminución significativa de la densidad aparente del suelo, un aumento de la materia orgánica, la porosidad total, la infiltración del agua en el suelo y la conductividad hidráulica
(Blanchart, Villenave, & et al, 2006)		Encontraron que el uso de <i>Mucuna pruriens</i> como cobertura intercalada en una plantación de maíz (<i>Zea mays</i>), 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.

(SEAE, 2008)	Evaluaron los efectos de la fertilización orgánica (compost vegetal) y química (NPK) en las propiedades físicas de un suelo franco en el Valle del río Guadalquivir, España	Encontraron que el uso de abono orgánico aumentó el carbono orgánico del suelo, la calidad física del suelo y una disminución de la densidad aparente, en comparación con la aplicación de fertilizantes minerales, que fue de 1,24 Mg/m³ para suelos con abono orgánico y 1,36 Mg/m³ para suelos tratados con fertilizantes minerales, donde no se encontraron diferencias significativas.
(Alvares & Fernandez , 2009)	Cobertura vegetal	Este estudio tuvo como objetivo analizar diferentes coberturas, intensidades y duraciones de lluvia mediante simulación. La cubierta vegetal que presentó la menor pérdida de suelo y la mayor infiltración fue la cobertura de kikuyo, con valores de 1.019,1 kg•ha⁻¹ de suelo perdido por escorrentía y 0,88 cm de infiltración acumulada. Las duraciones de lluvia no afectaron la pérdida de suelo por escorrentía e infiltración. El patrón anual de lluvias de Tunja mostró que el año 2006 presentó la mayor pérdida de suelo, con 46.663 kg•ha⁻¹ para el suelo descubierto, lo que implica que se deben tomar acciones correctivas rápidamente, mediante la implementación de coberturas vegetales que atenúen el efecto de la precipitación sobre el suelo a libre exposición con el fin de disminuir la pérdida del recurso.
(Seguel, 2013)	Efecto del uso del ácido húmico sobre las propiedades hidráulicas e hidrofobia del suelo,	El uso de enmiendas orgánicas tuvo efectos benéficos sobre las propiedades físicas del camellón. Pow Humus favoreció la disminución de la densidad aparente y el aumento de la porosidad gruesa, la estabilidad de agregados y la velocidad de infiltración.
(Planchon & Cadet, 2000)	Modelo matemático	Relaciona el volumen de suelo desplazado debido a la salpicadura
(Lane & Wigmosta , 2006)	Modelo matemático	Modelo de erosión y transporte de sedimentos en la ladera
(Cardei, 2010)	Análisis dimensional	Ecuación adimensional para la pérdida del suelo como alternativa a la ecuación Universal de pérdida de suelo (USLE)

Tabla 1. Algunos estudios sobre el tema de erosión con un enfoque en la física del suelo.

1. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la evolución de las propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica en zona de ladera (cárcava), bajo la aplicación de enmiendas orgánicas.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físicas asociadas al fenómeno de erosión hídrica en la zona de estudio (Cárcava).
- Determinar y analizar las propiedades físicas asociadas al fenómeno erosivo como el Diámetro ponderado medio (estabilidad de agregados), Densidad Aparente, Densidad Real y la Humedad del suelo bajo la influencia de las enmiendas orgánicas-minerales.
- Estimar la pérdida de suelo en función de las variables físicas asociadas al estudio y la influencia de las enmiendas orgánicas-minerales sobre ellas, por medio de un análisis dimensional de variables.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.La Degradación De Los Suelos

Se considera como degradación del suelo a toda modificación que conduzca al deterioro del suelo. Según la FAO - UNESCO la degradación es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios. La degradación del suelo es la consecuencia directa de la utilización del suelo por el hombre. Bien sea como resultado de actuaciones directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, etc.

Actualmente existe una fuerte tendencia hacia la utilización racional del suelo. Sus principios se agrupan en lo que se conoce por Conservación de Suelos. Las teorías conservacionistas persiguen obtener máximos rendimientos pero con mínima degradación.

La degradación física del suelo es activada por el decaimiento de las propiedades estructurales, ocasionando problemas como: encostramiento, compactación, baja rata de infiltración, alta rata de escorrentía y erosión acelerada (Lal *et al.*, 1995) citado por (Torres, 2000).

TIPO	CAUSAS	PROCESOS DE DEGRADACION	IMPACTO EN LOS PROCESOS DEL SUELO
Físico	Deforestación	Dstrucción de estructura, de la agregación y la porosidad	Reducción de la capacidad de infiltración, cambios en las características de retención de agua en el suelo
	Quema de biomasa	Encostramiento y sellamiento superficial	Incremento de la tasa y cantidad de escurrimiento superficial
	Labranza en sentido de la pendiente, trafico excesivo animal, humano y de maquinaria, sobrepastoreo.	Compactación superficial y del subsuelo, reducción de la proporción y resistencia/estabilidad de agregados	Erosión hídrica y eólica acelerada. Incremento de la densidad aparente conducente a reducción de la porosidad. Anegamiento y anaerobiosis

Tabla 2.Causas, procesos e impacto de la degradación del suelo; Fuente:(FAO, 2000) citado por (Madero, Valenzuela, Castro, Garcia, & Osorio, 2013).

2.2.Erosión Hídrica

La erosión hídrica es el proceso por el cual se fraccionan y arrastran las partículas del suelo por el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo. Cuando la gota impacta directamente al suelo, la fuerza del impacto fracciona los agregados y los hace propensos a arrastre por la acción de los flujos superficiales de agua (escorrentía) y a la vez causa daño en la estructura superficial del perfil del suelo disminuyendo su capacidad de aportar a las plantas los nutrientes y entorno necesarios para su desarrollo.

2.3.Erosión En Cárcavas

Antes de llegar a este grado de erosión se da la **erosión laminar** cuando el agua fluye en una capa delgada a lo largo de la superficie del suelo. A medida que las gotas de lluvia golpean la superficie, se desprenden de éste partículas de suelo que luego el agua arrastra al escurrirse, este fenómeno se incrementa con el tiempo dando paso a la **erosión en surcos** y en una máxima expresión a la erosión en cárcavas.

Las cárcavas son consecuencia de un proceso acelerado de erosión y se definen como zanjas más o menos profundas originadas por socavamientos repetidos sobre el terreno, debido al flujo incontrolado del agua que escurre ladera abajo (agua de escorrentía). Cuando las cárcavas evolucionan con crecimiento hacia arriba y hacia los lados de la ladera, toman el nombre de cárcavas remontantes (Federecafé, 1975). La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de degradación, ya que la mayoría de las veces se inician luego de la pérdida superficial del suelo por efecto del impacto de las lluvias, destrucción de los agregados naturales del suelo, la erosión laminar y en surcos, como consecuencia del uso y manejo inadecuados de los suelos y ausencia de prácticas de conservación, o por la construcción de vías sin obras conductoras de aguas de escorrentía y por descargas de caudales sobre taludes inferiores sin disipación de su energía cinética las cárcavas aumente la velocidad, razón por la cual, la erosión en cárcavas se perpetúa así misma y no se autocorriga. Una de las limitantes principales en el control de cárcavas remontantes son los costos en su control cuando la solución se enfoca hacia la Ingeniería convencional con estructuras hechas en concreto y por el desconocimiento de otras soluciones alternas, eficientes y de menor costo, como son los tratamientos de tipo biológico, utilizando los recursos existentes en la finca o área de influencia del problema en asociación con obras de bioingeniería (trinchos guadua, etc.) (CIPAV, Rivera, & Sinisterra, 2004).

2.4. Factores Que Intervienen En La Erosión

La precipitación: en el proceso de erosión hídrica el arranque de material suele producirse por el impacto y salpicadura de las gotas de lluvia, además el transporte de partículas viene dado por los flujos laminares que se crean en superficie.

El suelo: La naturaleza de los materiales que lo forman, su textura, profundidad y la permeabilidad del mismo van a determinar el grado de sensibilidad que presenta este frente a la erosión.

La topografía: La inclinación y la longitud de la pendiente del terreno juegan un papel fundamental en este proceso, así a mayor inclinación y longitud de pendiente suele existir una mayor erosión.

La vegetación: que recubre el terreno actúa disminuyendo la erosión ya que protege y sujeta el suelo, y además frena la escorrentía favoreciendo la sedimentación de las partículas transportadas, al no tener vegetación el suelo que expuesto y vulnerable a la erosión.

El uso del suelo: es un factor primordial condicionante de la erosión ya que modifica sus condiciones naturales. La erosión dependerá en buena medida del manejo y del tipo de cultivo implantado.

2.5. Aspectos Físicos Del Suelo Asociados A La Erosión

Según Montenegro en 1990, el suelo es el resultado de numerosas interacciones dinámicas tanto de componentes orgánicos como inorgánicos. De la integración de todos estos componentes se deriva este cuerpo natural, cuya función más importante ha sido la de construir el medio para el desarrollo vegetal.

La pérdida de la calidad física de un suelo puede ser evaluada por la alteración de algunas de las más importantes características tales como la densidad, la porosidad, la distribución del tamaño de poros, la estructura (estabilidad de agregados) y la humedad.

El comportamiento mecánico de la fase sólida determina las propiedades físicas del suelo, las cuales en asociación con las características químicas y biológicas proporcionan el medio necesario para la vida vegetal; Varios autores han tomado la **densidad aparente** como una medida de la estructura del suelo, tal es el caso de (Amezquita, 1998); esta densidad junto con la densidad de las partículas o **densidad real** permiten calcular la porosidad total, evaluar la concentración de los sólidos en suspensión y determinar la velocidad de sedimentación, en la predicción de pérdida de suelo, en análisis mecánicos, en erosión y conservación de suelo.

La textura está determinada por la proporción relativa de las partículas minerales cuyos diámetros promedio de partículas son inferiores a las arenas, con diámetros entre 20 y 2000 micrómetros, constituyen la fracción gruesa del suelo que le imprime baja capacidad de retención de humedad, drenaje alto, baja retención de nutrientes, baja capacidad de suministro de agua, excesiva aireación, susceptibilidad al encostramiento superficial y la erosión, facilidad de laboreo mecánico. Los limos son partículas cuyos diámetros oscilan entre 2 y 50 micrómetros. Esta fracción presenta mayor dinamismo químico e hidrodinámico que las arenas, pero inferior que las arcillas. Los suelos ricos en limos presentan buenas condiciones en términos generales para la actividad agropecuaria, están asociados con suelos de valles. La arcilla es la partícula más activa física, química e hidrodinámica de los suelos con diámetros inferior a 2 micrómetros. Los suelos ricos en estas partículas tienden a drenaje deficiente, dificultad al laboreo, mayor encharcamiento superficial, mayor retención de agua y nutrientes, mayor contenido de materia orgánica y mayor resistencia a la erosión. (Madero, Valenzuela, Castro, Garcia, & Osorio, 2013).

La **porosidad** depende de la textura, de la estructura y de la actividad biológica del suelo. La estructuración del suelo por la materia orgánica, los microinvertebrados y los macroinvertebrados, conlleva a la formación de poros, por donde fluye el agua, y el aire. Greenland & Lal , 1969, realizó una clasificación de poros por su diámetro y función, él los llamó macroporos, mesoporos y microporos. Los macroporos son los encargados de permitir el flujo del aire y el agua, los mesoporos son los que almacenan el agua y puede ser entendido como el agua aprovechable para las plantas, y los microporos tienen agua fuertemente ligada y difícilmente la aportan a las plantas. Amezquita (1998), considera como una buena distribución de poros un rango de 10 a 15% de macroporos, 20 a 25% de mesoporos y entre 10 a 15% los microporos; la porosidad al igual que la textura tienen una relación directa con **La humedad** la cual se puede analizar bajo dos aspectos diferentes, uno relacionado con la facilidad con que el agua se mueve a través del matriz suelo y el otro se referente a la capacidad de almacenamiento y disponibilidad.

La **estabilidad estructural** es la resistencia de los granos a disgregarse en condiciones de humedad. Define el estado de agregación de las partículas componentes minerales u orgánicas del suelo. Depende de la disposición de sus partículas y de la adhesión de las partículas menores para formar otras mayores o agregados. (Kohnke, 1968) citado por (Madero, Valenzuela, Castro, Garcia, & Osorio, 2013).

La estabilidad de los agregados al agua es una propiedad fundamental para la conservación de la estructura y del suelo mismo. Algunos suelos se deterioran frente a la acción del agua lluvia o de la escorrentía, mientras otras muestran resistencia. La medición de la estabilidad estructural se basa en la mayor o menor resistencia de los agregados a la acción del agua, se puede medir obteniendo el índice de agregación o **diámetro ponderado medio DPM**, el cual se relaciona con la materia orgánica y con la presencia de óxidos de hierro y aluminio.

Particularmente Rivera (1999) muestra cómo la **materia orgánica** es mayor en los agregados de 1-2 mm y disminuye con el tamaño de los agregados; Amézquita (comunicación personal) “sugiere la materia orgánica como una propiedad física del suelo por tener gran influencia en la agregación de este y por ende en la estabilidad y porosidad del mismo”.

Esto es corroborado por Oyedele (1999) citado por (Torres, 2000) en su estudio de algunos suelos tropicales, donde sus resultados demuestran que hay rápidos cambios en la fracción de la materia orgánica del suelo bajo un corto periodo de incubación, y que este cambio tiene un pronunciado efecto positivo en la estructura del suelo.

2.6. Modelos De Pérdida De Suelo O Erosión

Torres, 2000 cita los siguientes autores. “La necesidad de medir la cantidad de suelo perdido llevó la investigación al primer modelo de erosión. Este fue la ecuación dada por Zingg en (1940), esta ecuación da la pérdida de suelo en función del grado de la pendiente y la longitud de la pendiente. Más adelante, Wischmeier y Smit (1958) establecieron las pautas para estudiar el proceso erosivo en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, las cuales hasta hoy son aceptadas. Luego de esta ecuación, las investigaciones de diversos autores han creado gran cantidad de modelos que predicen la pérdida de suelo basándose en ecuaciones y programas de computador que involucran diferentes metodologías, que de una u otra forma, involucran y retoman el trabajo de Wischmeier y Smit (1958). Entre los modelos de erosión están”:

El modelo simplificado de C. W. Rose (1988), el modelo EPIC creado por Agricultural Research Service (ARS), Soil Conservation Service (SCS) y Economics Research Service (ERS), el modelo de R. P. C. Morgan (1986), e inclusive la actualización de la USLE, en (1993), la cual se llamó RUSLE. Autores citados por (Torres, 2000).

2.7. Análisis Dimensional

El principio del análisis dimensional es utilizado en ingeniería para atacar problemas en los que la cantidad de variables es considerable; o bien, para aproximarse al hallazgo de Leyes de escala entre modelos, prototipos o modelo – prototipo. Uno de los pilares básicos del análisis dimensional es la homogeneidad dimensional, la cual hace referencia a que cualquier ecuación que represente un fenómeno físico debe estar balanceada dimensionalmente; es decir, que todos sus términos deben tener las mismas dimensiones (White, 2011). De la misma manera, esta técnica es apropiada para estudiar el comportamiento de un flujo. El análisis dimensional reúne y da importancia a cuatro dimensiones fundamentales que son la masa, la longitud, el tiempo y la temperatura, para algunos casos específicos la masa puede ser sustituida por la fuerza. Todas y cada una de las variables involucradas en un fenómeno físico están en términos de las dimensiones mencionadas anteriormente (White, 2011). La gran utilidad del análisis dimensional está en el hecho de que reduce costos, tiempos y análisis de cualquier investigación; adicional a esto, es casi la única opción a seguir cuando las ecuaciones de conservación no pueden ser

resueltas para caracterizar una fuerza. El ejemplo más común es el diseño de grandes máquinas, las cuales generan pérdidas enormes cuando se presentan fallas en el diseño de los prototipos. En éstos casos el uso del análisis dimensional ofrece la posibilidad de encontrar expresiones equivalentes a la original, con menos variables sin perder la información original, proporcionando las Leyes de escala necesarias para el diseño de los modelos previos al prototipo (White, 2011).

Para describir los fenómenos que nos rodean es necesario determinar primero las magnitudes que pueden ser útiles, aquellas que tienen una influencia primordial en su desarrollo; después nos interesa conocer relaciones entre ellas o leyes. Tales relaciones pueden obtenerse directamente de forma experimental o partiendo de alguna teoría conocida; otra forma consiste en establecer una relación tentativa (que después habrá de comprobarse o desecharse con ayuda del experimento) usando el llamado Teorema Pi de Buckingham, que es el caso que nos interesa; este tópico pertenece al análisis dimensional, con el cual se logra completar un análisis matemático de los problemas que surgen en la realidad y reducir costos de experimentación; esta técnica es muy útil en problemas que surgen en mecánica, en particular la de fluidos. El conocer que ciertas leyes entre magnitudes dimensionales se cumplen para otras adimensionales es muy útil en la modelación; un prototipo es un objeto que se desea estudiar mientras que un modelo lo representa a una escala menor o mayor, por ejemplo una maqueta de un edificio, un barco de plástico o un avión de metal son modelos de sus correspondientes objetos reales (Quintanar, sf).

2.8.Materia Orgánica Y Enmiendas Orgánicas En El Control De La Erosión

La materia orgánica incrementa la habilidad del suelo para resistir todas las formas de degradación y, especialmente, la erosión, debido a diversos efectos como el mantenimiento de una condición estructural que permite la circulación de agua y gases al tiempo que retiene una cantidad considerable de la misma (Lal, 1994, citado Madero, Valenzuela, Castro, Garcia, & Osorio, 2013). El funcionamiento de los suelos y su habilidad para suministrar nutrientes, almacenar agua, liberar gases de invernadero, modificar contaminantes, resistir la degradación física y producir cosechas dentro de un sistema de manejo sostenible están profundamente influenciados por el contenido de materia orgánica (Rees, et al., 2001 citado por (Madero, Valenzuela, Castro, Garcia, & Osorio, 2013).

La materia orgánica estructuralmente activa es responsable de la formación de agregados estables (Tisdall, Oades, 1982; citados por Madero, Valenzuela, Castro, Garcia, & Osorio, 2013) y por consiguiente de la existencia y mantenimiento de poros grandes (Greenland, 1977; Schachschabel, et al., 1982; citados por (Madero, Valenzuela, Castro, Garcia, & Osorio, 2013). Aparentemente el efecto positivo de la materia orgánica sobre la agregación es más fuerte si el contenido de arcilla es bajo y viceversa. Sin embargo parece que existen

límites críticos en el contenido por encima de los cuales no se debe esperar un incremento en la estabilidad de los agregados (Tisdall, Oades, 1982; citados por Madero, Valenzuela, Castro, Garcia, & Osorio, 2013).

Se define como **abono orgánico**, el producto cuya función principal es la de aportar a las plantas nutrientes que proceden de materiales carbonados de origen animal o vegetal y como **enmienda orgánica**, el producto procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizado fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar, también, su actividad química o biológica. La **enmienda mineral** es cualquier sustancia o producto mineral, natural o sintético, No se consideran abonos; se utilizan para modificar y mejorar las propiedades y las características físicas, químicas, biológicas o mecánicas del suelo

Las enmiendas y abonos orgánicos calientan el suelo lo que le permite absorber con mayor facilidad los nutrientes. También mejora la estructura y textura del suelo haciéndole más ligero a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos. También permite mejorar la permeabilidad del suelo ya que influye en el drenaje y aireación de éste. Aumenta la retención de agua en el suelo cuando llueve y contribuye a mejorar el uso de agua para riego por la mayor absorción del terreno; además, disminuye la erosión ya sea por efectos del agua o del viento (Mosquera , 2010).

Los productos deben seguir unos tratamientos o procesos de elaboración, concretamente el estiércos fresco y los lodos de depuradora están excluidos expresamente y su utilización en la agricultura, como abonos o enmiendas orgánicos, queda sometido a su regulación específica (Tecnicoagropecuaria, 2013).

La utilización de la **cobertura vegetal** del suelo es una de las maneras más eficientes para detener la erosión del suelo, y a consecuencia, detener también su degradación. Para disminuir la erosión, se debe hacer cobertura del suelo con rastrojos y plantas vivas, pero para lograr un resultado óptimo con la cobertura vegetal del suelo, es necesario conocer las especies adaptadas a la región en que se trabaja la tierra.

- Con la cobertura vegetal del suelo se disminuye la erosión.
- Se logra la conservación del suelo y un aumento de la materia orgánica.
- Mejoramiento de la estructura y calidad del suelo.
- Se obtiene una mayor capacidad de absorción de agua por parte del suelo.
- Existe un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo y de los abonos químicos por parte de la planta.
- Mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo, por la fijación simbiótica de nitrógeno, cuando son usadas leguminosas.

3. METODOLOGÍA

3.1.Ubicación Del Terreno De Estudio

La Cumbre se localiza en la vertiente occidental de la cordillera occidental en jurisdicción del Departamento del Valle del Cauca. Gran parte del municipio (160.71 km²; 65.6%) corresponde a la Subcuenta del río Bitado, la cual drena sus aguas al Océano Pacífico a través del río Dagua. Su posición astronómica lo localiza a los 3, 39' 11" Latitud Norte y a los 76, 34' 06" Longitud Occidental. El Municipio de La Cumbre se divide en 4 zonas de acuerdo con la similitud de sus características biofísicas y socioeconómicas, al igual la identidad con problemas comunes en los corregimientos y veredas. Su división político-administrativa está conformada por 7 corregimientos y 32 veredas (Alcaldía de la cumbre, 2014).

El presente estudio se llevó a cabo en el barrio el Retiro, ubicado en el Corregimiento de Pavas, Municipio de la Cumbre en el Departamento del Valle del Cauca. El área de la zona afectada es de aproximadamente 242 m² tiene laderas de pendientes pronunciadas (20-70%), con cultivos de pino al Norte de la Zona y la población del barrio al Sur. Del área afectada por la cárcava se tomaron las muestras de suelo-matriz suelo, e información necesaria para desarrollar el trabajo de investigación planteado en este proyecto. Ver anexo 1 Levantamiento de la zona afectada por erosión en el Barrio el retiro, Corregimiento de Pavas; Escala 1:500.

3.2.Ubicación Experimental

El trabajo experimental se realizó en las instalaciones del invernadero ubicado dentro de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira; el seguimiento y control del trabajo en general se desarrolló en conjunto entre el Laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas (LASA) de la Universidad del Valle y el Laboratorio de Suelos de la Nacional Sede- Palmira.

Se plantearon tres etapas en el proyecto, cada una posee actividades que en conjunto y de manera organizada llevaron a concluir el objetivo final; a continuación se muestra un cuadro metodológico en el cual se plantean las etapas y se resume las actividades.

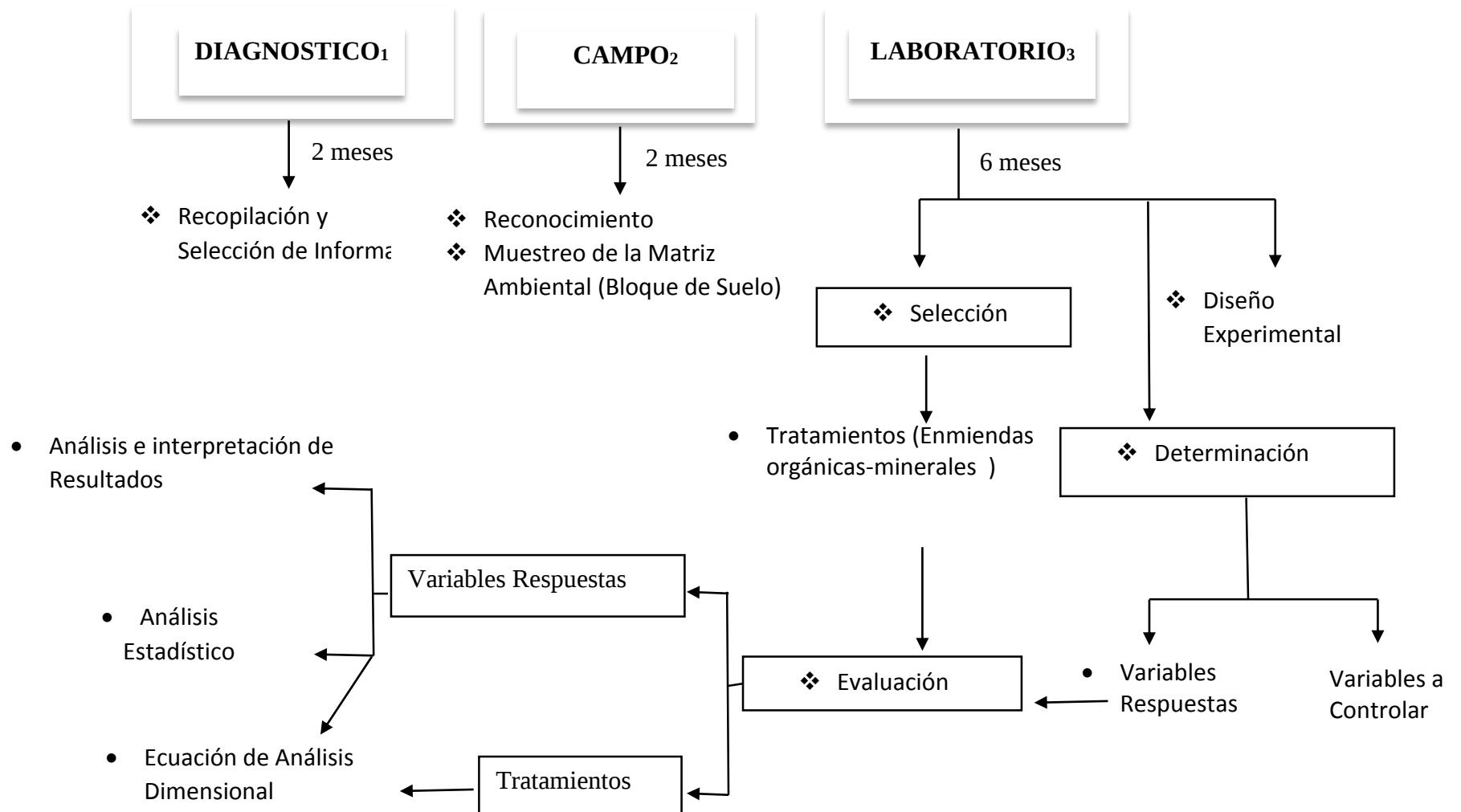


Figura 3. Esquema Metodológico del proyecto; Fuente: (Autor, 2014)

3.3.DIAGNÓSTICO

3.3.1. Recopilación y Selección de Información

En esta etapa se realizó una recopilación y selección de literatura sobre la degradación de los suelos, la erosión hídrica, las propiedades físicas asociadas a este fenómeno, enmiendas orgánicas, estudios realizados con el método del análisis dimensional sobre variables físicas del suelo, también se tuvo en cuenta si habían estudios previos (científico, tecnológico etc.), circunstancias similares y estado actual sobre la zona a estudiar con la idea de justificar la necesidad e identificar que aplicación iba a tener el desarrollo del proyecto si en la agricultura, en la disminución de riesgo y/o impacto visual y así poder analizar el problema y generar información según los resultados que ayude a plantear alguna alternativa con la cual se pueda contribuir a mejorar la propiedades físicas del suelo y por ende a mitigar el fenómeno erosivo. Posteriormente se definieron las variables físicas del suelo relacionadas con la problemática y conceptos afines con la erosión hídrica en ladera (cárcava). Luego se obtuvo información de forma general de la zona, clima, suelo, estudios relacionados y accesos a la información necesaria para el desarrollo del estudio.

3.4.CAMPO

3.4.1. Reconocimiento

En esta etapa se hizo una visita a la zona donde se observaron parámetros de interés como la vegetación, el suelo, su uso, el estado de la cárcava y estudios relacionados en La zona, accesos a la información y asequibilidad para el transporte adecuado de las muestras y visitas posteriores. El reconocimiento se realizó en el predio ubicado en el barrio el Retiro del Corregimiento de Pavas con el fin de identificar la aplicación que iba a tener el desarrollo del proyecto para el caso se observó el impacto visual que generaba la cárcava además de la vulnerabilidad de la población ante la amenaza de la degradación severa en la parte alta del barrio donde se ubicaba la cárcava, generando un riesgo y la necesidad de buscar alternativas para estabilizar los terrenos.

Del municipio se dato el levantamiento de los suelos y zonificación de tierras (IGAC, 2004) (ver tabla 3), e información necesaria para el estudio como, la precipitación que varía entre 800 a 1400 mm/año, localizándose zonas secas en la parte baja del municipio el rango está entre menos de 800 mm a 1000 mm/año; en la zona media y parte alta que es la zona de interés Corregimiento de pavas la precipitación fluctúa entre 1000 a 1200 mm/año. La temperatura media del municipio oscila entre 18.1° a 20.1° C, presentándose temperaturas máximas entre 27.1° a 28.5° C y mínimas entre 12.7° a 13.8° C; esta variación de la temperatura es poca a través del año y de la época; en el transcurso del día se presentan cambios bruscos que van desde 12.7° C a 28.5° C. los vientos predominantes son aquellos que vienen del Pacífico, generalmente con dirección Suroeste-Noreste en las primeras horas

del día y de dirección Sur-Norte al finalizar la tarde cuando se hacen más rápidos y fuertes (Galeano, Bulding, & Andres , 2000).

				USO ACTUAL DE LAS TIERRAS	
PAISAJE	CLIMA	TIPO DE RELIEVE	MATERIAL PARENTAL Y/O LITOLOGÍA	PISO TERMICO	CLASE DE UNIDAD
Montaña fluvio gravitacional	Medio y húmedo	Filas - Vigas	Depósitos superficiales clásticos, piroclásticos no consolidados (ceniza volcánica) y rocas ígneas volcánicas máficas, afaníticas y porfiriticas (diabasa)	Todos los pisos	Asociación
CAPACIDAD DE USO DE LAS TIERRAS					
UNIDAD CARTOGRAFICA	SIMBOLO	UNIDAD DE CAPACIDAD	FACTORES LIMITANTES DE USO Y MANEJO	RECOMENDACIONES DE USO	PRACTICAS DE MANEJO
Asociacion Typic Dystrudepts - Typic Hapludands	MQAf1	VIIp-4	Pendientes del 25 - 50% 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

Tabla 3. Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Municipio de la Cumbre, (Corregimiento Pavas); Fuente: (IGAC, 2004)

3.4.2. Muestreo de la Matriz Ambiental (Bloque de Suelo)

Se realizó un muestreo estratificado es decir se dividió la Cárcava en tres zonas, Superior, Media y Baja (llamadas bloques- diseño estadístico). Se dividió cada zona en cuadrículas de 1mx1m de forma transversales a la pendiente para seleccionar al azar 4 de ellas (cuadrículas) en cada zona a las cuales posteriormente se les realizó un muestreo de suelo inicial, (ver tabla 4) para realizar la caracterización física y la caracterización química se realizó con la mezcla de estas muestras.

Los puntos de muestreo iniciales fueron georreferenciados como base para establecer las cuadrículas como parcelas de 1x1m donde se aplicaron las enmiendas orgánicas y la mineral las cuales en forma paralela se iban seleccionando en laboratorio; posteriormente a la aplicación (8 días después) se realizó el muestreo de los bloques de suelo de 35x40x15 ancho-largo-Prof en cada una de las parcelas estos bloques se iban depositando en las cajas 30x34x14 ancho-largo-Prof en campo para ser transportados cuidadosamente a su destino.

En la siguiente imagen se muestra los puntos de muestreo y la ubicación de las parcelas (seleccionadas al azar) las cuales oscilaban en un intervalo de pendientes entre (40-60 %).

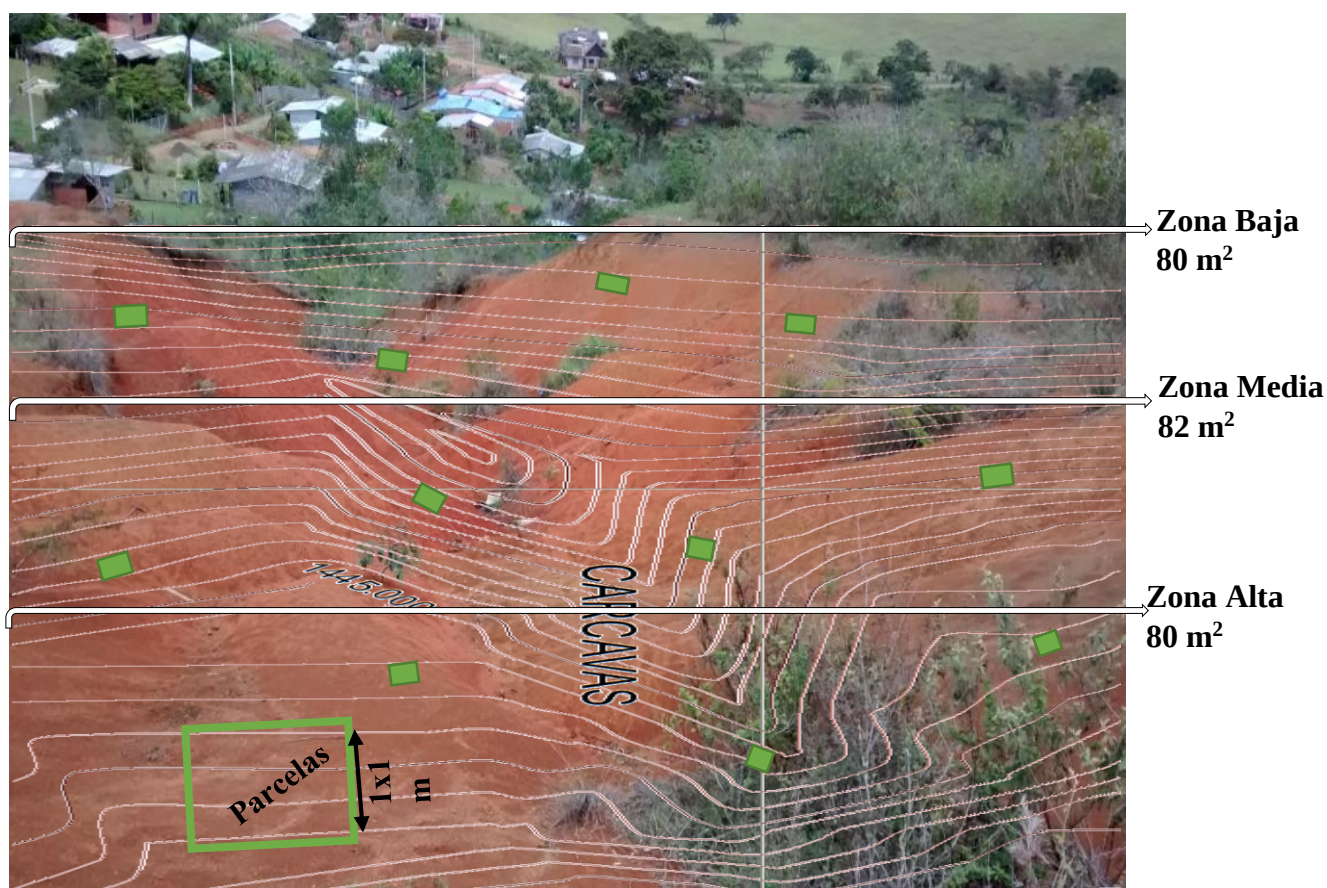


Figura 4. Ubicación de las parcelas y puntos de muestreo en la cárcava; Fuente: (Autor, 2014)

Del muestreo inicial se obtuvieron 9 muestras, es decir 3 muestras por zona a las cuales se les realizo los análisis registrados en la tabla 4 con tres repeticiones cada análisis para trabajar con el promedio de los resultados.

Se tomaron 12 bloques de suelo en la cárcava de la forma como lo muestra la figura 5 para un total de 4 bloques por zona, tres corresponden a los tratamientos y el otro es el testigo; estos bloques fueron llevados al invernadero de la Universidad Nacional donde se instalaron en el simulador de pendientes, (ver anexo 2 figura 14).



Figura 5. Muestreo del bloque de suelo; Fuente: (Autor, 2014)

Instalados los bloques se realizó la siembra (etapa laboratorio); luego semanalmente se monitorea la humedad y el descenso del suelo en los bloques.

En la etapa final (pasado 4 meses) se realiza un muestreo en los bloques y de nuevo se realizan los análisis registrados en la tabla 4.

En la siguiente tabla se muestran las variables físicas a evaluar en el laboratorio:

PROPIEDAD FISICAS	METODO	UNIDAD
Textura	Bouyoucos	%(limo,arcilla,arena)
Estabilidad de Agregados	Yoder	%(DPM mm)
Densidad Real	Picnómetro	gr / cm ³
Densidad Aparente	Cilindro	gr / cm ³

Tabla 4. Variables respuesta a medir en laboratorio; Fuente:(Autor, 2014)

En el documento se referirán a las variables a estudiar con sus siglas de la siguiente manera:

DPM: Diámetro ponderado medio.

Da: Densidad aparente

Dr: Densidad real

A continuación se muestran la tabla 5 y figura 6 de clasificación de las variables analizadas en laboratorio:

CLASE TEXTURAL	RANGO (%) EN EL CONTENIDO DE		
	ARENA	LIMO	ARCILLA
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

Tabla 5. Rango de variación de los contenidos de arena, limo y arcilla en las diferentes clases texturales de suelos; Fuente: (Jaramillo D, 2002).

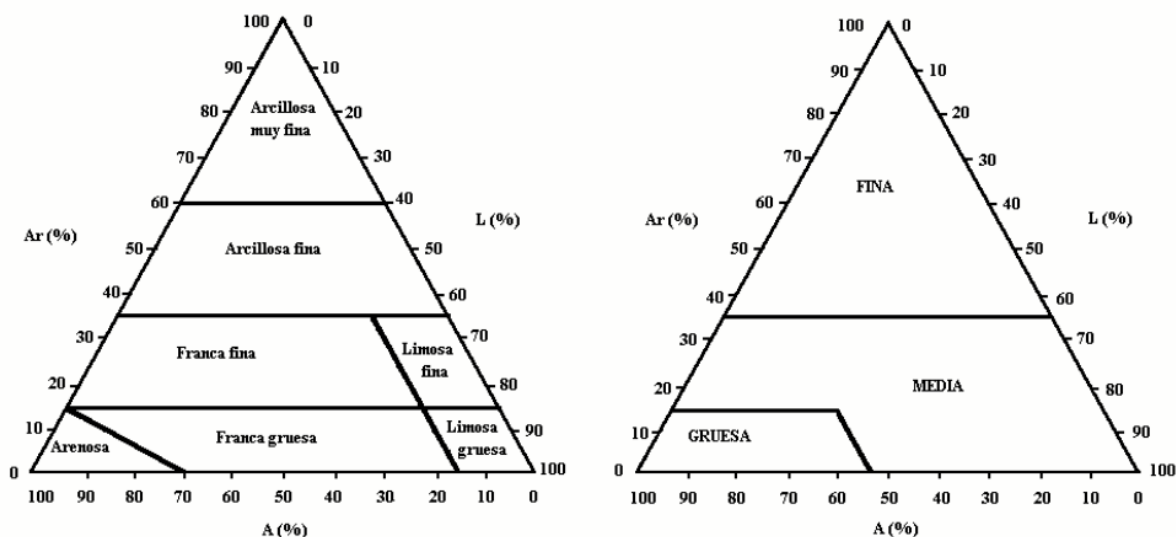


Figura 6. Generalizaciones de las clases texturales del suelo, según el USDA. A: Familias texturales. B: Grupos texturales (Tomado de mejía, 1983); Fuente: (Jaramillo D, 2002).

Para clasificar los datos de estabilidad de agregados por medio del diámetro ponderado medio DPM se presenta la siguiente tabla 6.

DPM (mm)	Interpretación
< 0,5	Inestable
0,5-1,5	Ligeramente estable
1,5-3,0	Moderadamente estable
3,0-5,0	Estable
> 5,0	Muy estable

Tabla 6. Datos de DPM para la interpretación de la estabilidad de los agregados; Fuente: (IGAC, 1990) citado por (Jaramillo D, 2002).

Un valor promedio adecuado de densidad real para suelos minerales es de $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ este valor será apropiado para un suelo cuya composición mineralógica este equivalentemente distribuida entre los filo y tectosilicatos. En un suelo cuya mineralogía este dominada por óxidos de hierro se presentara una densidad real muy por encima del valor promedio anotado anteriormente. De otro lado los valores por debajo del promedio pueden indicar la presencia de altos contenidos de materia orgánica (Jaramillo D, 2002).

Teniendo en cuenta la textura cortes y Malagón en 1984 citados por (Jaramillo D, 2002) consideran como valores altos para la densidad aparente; aquellos que sean superiores a $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$, en suelos con texturas finas; los mayores a $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$, en suelos con texturas medianas y los mayores a $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$, en suelos con texturas gruesas.

POROSIDAD TOTAL (%)	CLASIFICACION
> 70	Excesiva
55 - 70	Excelente
50 - 55	Satisfactoria
40 - 50	Baja
< 40	Muy baja

Tabla 7. Calificación de la porosidad total del suelo; Fuente: (Kaurichev, 1984) citado por (Jaramillo D, 2005).

3.5.LABORATORIO

3.5.1. Diseño Experimental

Se construyó un muestreador de lámina calibre 3/16 pulg para tomar los boques de suelo con un mecanismo parecido al de los cilindro solo que su forma es rectangular con dimensiones de 35x40x15 ancho-largo-Prof (cm) ver figura 5.

En esta parte también se diseñaron las cajas de madera que contenían los perfiles de suelo tomados en campo (bloques) cajas de 30x34x15 (cm) ancho-largo-Prof ver figura 7, fueron ubicadas de igual forma y secuencia en que se tomaron las muestras en la cárcava sobre un

mecanismo desarrollado para simular pendientes con dimensiones de 1.30x1.10 (m) ancho-largo ver figura 8 y 14 con capacidad de oscilar entre pendientes de (10-80%).

Teniendo en cuenta que la pendiente crítica máxima del intervalo de pendientes en que oscilaban los bloques de suelo fue de 60% el simulador se usó en una pendiente del 60% constante, para garantizar que los resultados no van estar sesgados por la pendiente.



Figura 8. Prototipo Simulador de Pendientes; (Jaramillo R. , 2014)



Figura 7. Caja para perfil de suelo; (Jaramillo R. , 2014)

3.5.2. Selección

La selección y proporción de los tratamientos con enmiendas orgánicas y minerales se realizó teniendo en cuenta el área de la zona, de la parcela, las condiciones químicas iniciales que presentaba la cárcava y la disponibilidad e información que se tenían de algunas enmiendas desarrolladas en la tesis doctoral recuperación de suelos con erosión hídrica en zonas de ladera del valle del cauca por medio de valorización de residuos órgano – minerales de Diana María Delgado de la cual hace parte este proyecto y que debían de ser evaluadas. Se analizó los requerimientos físicos y de materia orgánica del suelo según la aplicación que iba a tener la recuperación de la cárcava (mejoramiento de propiedades físicas para contribuir a la disminución de Riesgo por erosión e impacto visual), así mismo se analizaron las enmiendas orgánicas a implementar las cuales debían cumplir los requerimientos según la política de gestión de residuos orgánicos y minerales y el decreto 824/2005 en la parte de las enmiendas.

Las tablas 8 y 9 muestran los estándares químicos generales para la interpretación de los resultados químicos encontrados en la cárcava y la tabla 10 muestra los requerimientos que debe cumplir una enmienda organica según su origen para ser implementada.

APRECIACION	P (ppm)	Ca (Cmol Kg ⁻¹)	Mg (Cmol Kg ⁻¹)	K (Cmol Kg ⁻¹)	MO (%)	CIC (Cmol Kg ⁻¹)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	B (ppm)
Muy Bajo	< 10	< 2	< 0,5	< 0,2		< 5					
Bajo	10 - 20	2 - 3	0,5 - 1,2	0,2 - 0,4	<3	5 - 10	< 5	< 2	< 3	<50	< 0,3
Medio	> 20 - 40	> 3 - 6	> 1,2 -1,8	> 0,4- 0,6	3 - 5	> 10 – 20	5 - 10	2 - 4	3 - 6	50 - 100	0,3 - 0,6
Alto	> 40	> 6	> 1,8	> 0,6 - 1	>5	> 20	> 10	> 4	> 6	> 100	> 0,6

Tabla 8. Estándares generales para interpretar análisis químicos de suelos con fines agrícolas;
Fuente: Castro y Gomez 2009 citados por (Madero, y otros, 2013).

pH	CALIFICACION
< 4,5	Extremadamente acido
4,5 - 5,0	Muy fuertemente acido
5,1 - 5,5	Fuertemente acido
5,6 - 6,0	Moderadamente acido
6,1 - 6,5	Ligeramente acido
6,6 -7,3	Neutro
7,4 - 7,9	Alcalino calcáreo
> 7,9 - 8,4	Moderadamente alcalino
> 8,4 - 9,0	Fuertemente alcalino

Tabla 9. . Estándares generales para interpretar el pH; Fuente: Castro y Gomez 2009 citados por (Madero, y otros, 2013).

TIPO DE ENMIENDA	MATERIA PRIMA	MATERIA ORGANICA TOTAL %	HUMEDAD MAXIMA %
Húmica	Animal o vegetal	25	40
Compost	Cualquier residuo orgánico biodegradable (IV. R.D 824/2005)	35	40
Compost vegetal	Restos vegetales	40	40
Compost de estiércol	Deyecciones animales	35	40
Vermicompost	Digestión por lombrices de materiales orgánicos, esencialmente estiércol	30	40

Tabla 10. Requerimientos que debe cumplir una enmienda orgánica para ser implementada; fuente: (Tecnicoagricola, 2013).

Se implementaron 3 tratamientos como se registra en la tabla 11 a los cuales se les asigno las siguientes siglas para identificarlos cuando se nombran en el documento:

T: Testigo (T)

T1: Tratamiento Lombricompuesto (TL)

T2: Tratamiento Búfalaza (TB)

T3: Tratamiento con Mineral (mezcla de sulfato de amonio y fosfato diamonico) (TM)

ZONA	TRATAMIENTO				CONSTANTES	
SUPERIOR (S)	T	TL	TB	TM	Cobertura Vegetal	Pendiente
MEDIA (M)	T	TL	TB	TM		
BAJA (B)	T	TL	TB	TM		
Duración	4 meses					

Tabla 11. Tratamientos implementados en los bloques de suelo; Fuente: (Autor, 2014)

Las enmiendas se aplicaron en campo y se implementaron de igual manera y proporción en las tres zonas ver tablas 12-15.

Las recomendaciones de las cantidades a aplicar por ha son las siguientes:

TRATAMIENTO	APLICACIÓN (Kg/ha)
Lombricompuesto	3000/1
Búfalaza	3000/1
Mineral	900/1

Tabla 12. Recomendaciones de la dosis por ha de enmienda a aplicar; Fuente: (Autor, 2014)

De acuerdo a la tabla anterior se realizaron los cálculos correspondientes para obtener las cantidades de enmienda adecuadas en las parcelas.

		TRATAMIENTOS		
ZONA	Área (m ²)	TL (kg/m ²)	TB (kg/m ²)	TM (kg/m ²)
ALTA	80	24	24	7,2
MEDIA	82	24,6	24,6	7,4
BAJA	80	24	24	7,2

Tabla 13. Dosis de las enmiendas por zona; Fuente: (Autor, 2014)

La tabla 14 registra los kilogramos por metro cuadrado de cada enmienda que se le aplico a cada una de las parcelas en la cárcava.

ZONA	AREA PARCELA (m ²)	APLICACIÓN ENMIENDAS		
		TL (kg/m ²)	TB (kg/m ²)	TM (kg/m ²)
ALTA	1	0,3	0,3	0,09
MEDIA				
BAJA				

Tabla 14. Dosis de las enmiendas para cada parcela en cada zona; Fuente: (Autor, 2014)

La enmienda mineral es una combinación de dos minerales el fosfato diamónico y el sulfato de amonio, en la siguiente tabla se registra la cantidad de cada una para ser mezcladas.

ENMIENDA MINERAL			
Necesidad (Kg)	Hectárea (m ²)	Área aplicar (m ²)	Cantidad Requerida (Kg)
900	10000	1	0,09
Fosfato Diamónico			0,05994
Sulfato de Amonio			0,02997

Tabla 15. Dosis de la mezcla para la enmienda mineral, para cada parcela; Fuente: (Autor, 2014)

La utilización de la enmienda mineral se hace principalmente para comparar su comportamiento con las enmiendas orgánicas para fines de recuperación de suelos erosionados y para aportar el nutriente a las plantas que se siembran en los bloques experimentales, ahora bien se implementa la combinación de los minerales registrados en la tabla 15, en el caso de ambos minerales según la tabla 20 de caracterización sus contenidos son muy bajos en la cárcava; en el caso de los sulfatos quizás han sido lavados porque son muy solubles y tienden a moverse con el agua en el suelo, al incorporar sulfato de amonio este puede ser fuente de Nitrógeno (Al) y de Azufre, teniendo en cuenta que la leguminosa que se va a sembrar es fijadora de nitrógeno, además de que rebaja el pH del suelo y comparte con los fosfatos ácidos como el fosfato diamónico el cual posee excelentes propiedades físicas (Repsol)

Para la selección de la cobertura vegetal se tuvo en cuenta el reconocimiento previo de la zona ya que esta información era de gran importancia para la escogencia de la cobertura a implementar en las matrices de suelo en el laboratorio, además de identificar otras que se ajustaran a las condiciones de la zona y tuvieran antecedentes sobre los efectos positivos en la recuperación del suelo erosionados. De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta otros parámetros se escogió el Maní Forrajero (*Arachis Pintoi*) planta herbácea perenne de crecimiento rastrero y estolonífero, tiene raíz pivotante, hojas alternas compuestas de cuatro folíolos, tallo ligeramente aplanado con entrenudos cortos y flor de color amarillo, el cual se adapta mejor a zonas entre 0 y 1.800 msnm con una precipitación anual entre 2000 y 3500 y con estaciones secas menor a 4 meses, en las mayores a cuatro meses pierde sus

hojas y estolones por desecamiento pero al siguiente periodo de lluvias se presentan rebrotes. (Argel & Pizarro, 1992). Según estudios realizados por el CIAT tiene una alta capacidad de fijación de nitrógeno y adaptabilidad, rápida degradación de su hojarasca, estímulo sobre la diversidad biológica del suelo y mejora en el contenido de la materia orgánica (Argel, Villarreal, & CIAT, 1997).

Después de hacer la selección se realizó la siembra en los bloques de suelo de manera homogénea y sistemática es decir se inició con la preparación de la semilla cortando estolones de igual longitud (20 cm) y promedio de yemas, posteriormente se aplicó una cama de un cm de suelo patrón de la universidad nacional sobre los bloques de suelo para ayudar al inicio de la germinación de la planta, centímetro que se tuvo en cuenta para la profundidad inicial del suelo en las cajas; la siembra se inició a 5 cm de los bordes de las cajas distribuyendo dos estolones cada 5 cm para un total de seis líneas de siembra, como se muestra en la imagen 9.

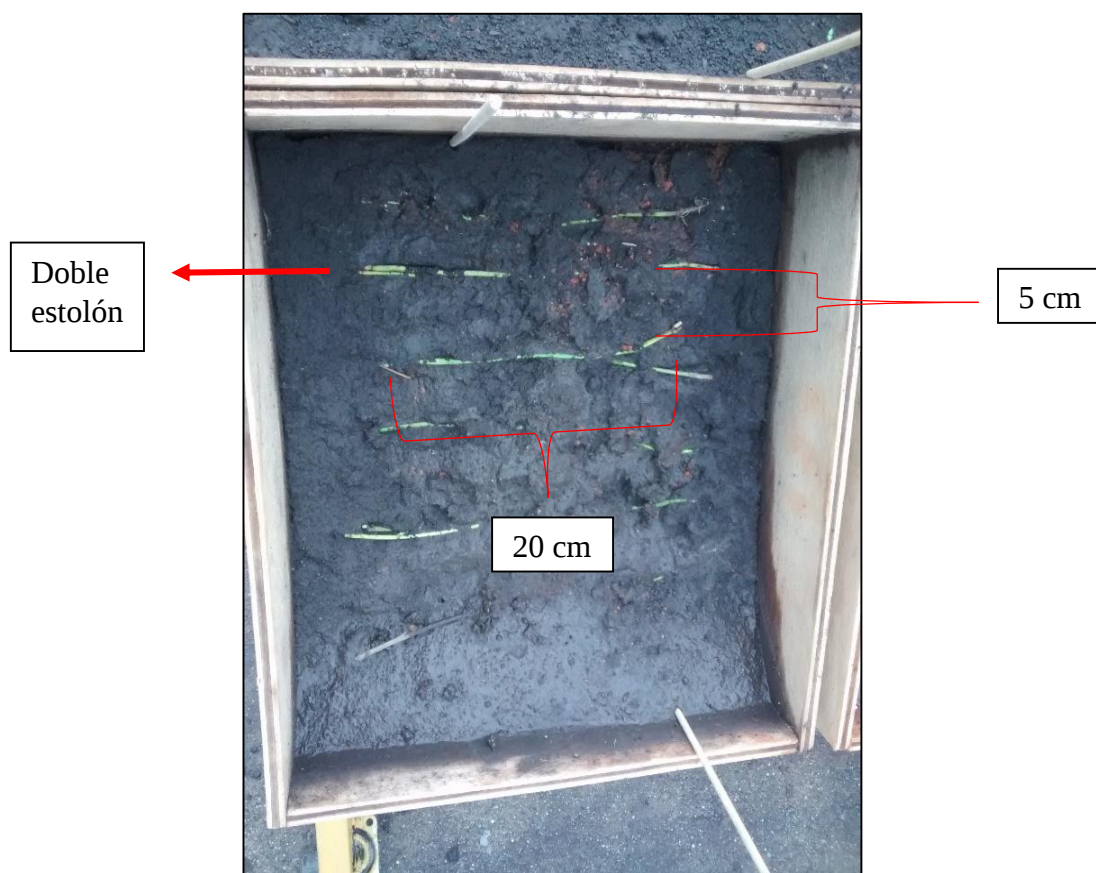


Figura 9. Forma en que se realizó la siembra en el bloque de suelo; Fuente: (Autor, 2014).

La aplicación de agua se hizo por medio de un sistema artesanal, instalando unos aspersores a un metro de altura después de la última caja los cuales solapaban la estructura, no se tomaba registro de caudal aplicado debido a que no era uniforme, pero se llevaba un control

de humedad semanal del suelo en las cajas, el riego se realizaba de dos a tres veces al día con la misma duración de 10 min.

3.5.3. Determinación

La problemática estudiada involucraba muchas variables, lo que hizo necesario la determinación de las variables físicas a ser cuantificadas (variables respuesta) y las variables a controlar durante el desarrollo del experimento según el enfoque del proyecto y la revisión de literatura donde se exponían los parámetros físicos más influyentes y comunes analizados en este fenómeno, además se tuvo en cuenta la ecuación dimensional desarrollada (ECU 2) del cambio de volumen del suelo en las cajas reflejado en la estimación de la pérdida de suelo en función de las propiedades físicas determinadas como variables respuesta.

En la siguiente tabla 16 se registran las variables respuesta a los tratamientos implementados y las variables que se controlaron durante el experimento.

La humedad es una variable que no se puede controlar debido a que está sujeta a características específicas del suelo y a la temperatura que estuviera el invernadero, la cual variaba dependiendo del clima, se cuantifico para tenerla en cuenta en los análisis.

VARIABLES RESPUESTA	VARIABLES A CONTROLAR
Densidad Aparente	Pendiente
Densidad Real	Cobertura Vegetal
Diámetro Ponderado Medio	
Cambio de volumen de Suelo (descenso suelo-prof)	

Tabla 16. Variables respuesta y variables a controlar en el estudio; Fuente: (Autor, 2014)

Las variables se manejaron de la siguiente forma:

	MONITOREO		
VARIABLE	INICIAL	FINAL	SEMANAL
DPM	x	x	
Dr	x	x	
Da	x	x	
Descenso suelo (prof)	x	x	x
Cobertura Vegetal	x		
Pendiente	x		
Humedad	x	x	x
Duración	4 Meses		

Tabla 17. Monitoreo de las variables en el estudio; Fuente: (Autor, 2014)

3.5.4. Evaluación

Para evaluar la evolución de las propiedades físicas (Da, Dr, DPM) en respuesta a los tratamientos aplicados y otras como la (porosidad, humedad y materia orgánica) se realizó un análisis e interpretación con las tablas de clasificación ya establecidas de algunos parámetros físicos y la información de referencia consultada, posteriormente se realizó un análisis estadístico empleando el programa Minitab 15 para confrontar si hay diferencia significativas en los valores de las variables respuestas a los tratamientos, respecto al testigo en cada zona, teniendo en cuenta que es un proyecto de inferencia experimental con un periodo de captación de información parcialmente retrospectivo y una evolución del fenómeno estudiado longitudinal- comparativo de 4 meses.

Se estableció el Diseño estadístico:

Para analizar las variables respuestas con base en los tratamientos implementados se estableció un diseño en bloques al azar generalizados (se repiten los tratamientos en cada bloque) con una restricción a la aleatorización es decir, los bloques fueron definidos (tres zonas de la cárcava), posteriormente se dividieron en parcelas de 1m por 1m que oscilaban en un intervalo de pendientes (40% - 60%) se realizó un sorteo obteniendo 4 parcelas en cada bloque para asignarles los tratamientos y tener un control (testigo), es decir la selección de los bloques fue aleatoria pero las parcelas fueron completamente al azar.

Después de realizar el muestreo en campo se obtuvo el siguiente modelo en laboratorio:

TRATAMIENTO	BLOQUES		
	ZONA SUPERIOR	ZONA MEDIA	ZONA BAJA
TM	VARIABLES RESPUESTA		
TB			
TL			
TT			

Tabla 18. Diseño estadístico para analizar las variables respuesta a los tratamientos en cada zona de la cárcava; Fuente: (Autor, 2014).

De la tabla 18 se obtiene dos factores el primario o factor de tratamientos (nivel 4) y el factor secundario o factor de bloques (nivel 3) para un total de 12 unidades experimentales, el factor bloque se incluye de manera implícita porque nos interesa su análisis, es un medio para estudiar de manera adecuada y eficaz el factor de tratamientos y no sesgar la comparación, eliminando su influencia en las variables respuesta.

El método de análisis más común utilizado es el análisis de varianza (ANOVA), el cual procura aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0) que establece igualdad de respuesta entre todos los tratamientos considerados en el análisis. La prueba estadística utilizada provee una probabilidad estimada (P valor) por medio de la prueba Bartlett, el cual es el resultado

de la comparación de un valor F calculado con relación a un valor F obtenido a partir de la respectiva curva de distribución de probabilidades, dados unos grados de libertad provenientes del tamaño de muestra seleccionado. Una vez realizada la prueba de hipótesis para cada variable en estudio, se procede a establecer conclusiones sobre los comportamientos de los datos obtenidos o a realizar otros análisis que permiten clarificar las conclusiones preliminares encontradas. Sin embargo, frecuentemente el ANOVA es aplicado sin considerar los supuestos estadísticos que lo sostienen, conduciendo a conclusiones erróneas sobre las variables consideradas o reduciendo la potencia del análisis como tal.

Para la correcta aplicación de ANOVA se requiere el cumplimiento de cuatro supuestos estadísticos que sustentan la validez de las conclusiones de esta prueba:

- a) Respuestas normalmente distribuidas
- b) Homogeneidad de varianzas
- c) Error experimental distribuido homogéneamente.
- d) Un modelo matemático conocido

Ejecutando el programa y empleando el diseño planteado en la tabla 18 con los bloque, los tratamientos sin el testigo y las valores de las variables respuestas en un anova con dos factores se obtiene valores de p de la gráfica de la prueba de Bartlett para comprobar el supuesto de la igualdad de varianzas cuando $P > 0,05$, esto se confirma con las gráficas de residuos vs ajustes para cada variable al no observar un comportamiento definido en los datos; posteriormente se realiza la gráfica de probabilidad normal con la cual se inferir sobre el supuesto de normalidad de los datos donde los datos se deben asemejar a una línea recta por encima o por debajo de ella.

Posteriormente se obtienen los F calculados para comparar con los F teóricos y determinar si hay diferencias significativas entre los tratamientos en respuesta a las variables de estudio y para determinar la influencia de los bloques sobre estas mismas variables. Entonces si $F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$ no hay diferencias significativas en los valores de las variables bajo ningún tratamiento y si se cumple lo mismo para los bloque quiere decir que no tienen influencia sobre las variables las zonas establecidas como alta media y baja, es decir, que los valores de las variables respuestas son independientes de las zona en que este.

Por otro lado si se encuentra o no diferencia entre los tratamientos se procede a comparar los valores de las variables respuestas de los tratamientos respecto al testigo de forma general esto para confirmar si hay diferencias significativas o para parar el análisis. Para realizar lo anterior se emplea la prueba de Dunnett, la cual arroja los intervalos de interpretación con un 95% de confianza donde cada intervalo debe contener el cero para confirmar el supuesto de que los tratamientos no presentan diferencia significativa respecto al tratamiento control o testigo.

Posteriormente de presentarse diferencias significativas de los valores de las variables respuesta de los tratamientos respecto al testigo se debe realizar un prueba tukey con la cual se identifica que tratamientos presentan similitud en su comportamiento es decir son iguales, y cuales presentan diferencia significativas, respecto a las variables respuesta evaluada, esto se representa en graficas que permiten identificar con letras si hay similitud o diferencia.

Análisis dimensional

Como el estudio involucraba un gran número de variables se desarrolló una ecuación de análisis dimensional por el método del Teorema Pi de Buckingham formulado en 1914 el cual recibe dicho nombre por la notación matemática (π), que significa producto de variables (Langhaar, 1951); este provee una alternativa para encontrar parámetros adimensionales en el cual; (i) identificación de las variables que intervienen en el fenómeno, (ii) Representación de cada variable en términos de sus dimensiones, (iii) determinación del número de variables n y el número de dimensiones fundamentales j , (iv) selección de las variables que no forman un parámetro adimensional k y (v) determinación de los $n-k$ parámetros adimensionales (White, 2011). La ecuación se desarrolló con un enfoque en la física de los suelos involucrando las variables respuestas del estudio y los tratamientos implementados; para obtener datos que ayudaran a interpretar de mejor manera el desarrollo del estudio.

El desarrollo del procedimiento anterior implico plantear la siguiente expresión funcional:

$$\Delta v = f(Da, Dr, n, DPM, h, L, S, C) \quad \text{ECU 1.}$$

Donde:

ΔV Cambio de volumen de suelo en las cajas

Da Densidad aparente

Dr Densidad real

n Porosidad

DPM Diámetro ponderado Medio

h Humedad promedio del suelo en las cajas

L Longitud axial de las cajas

S Pendiente

C Cobertura vegetal

Se tiene:

$n-9$ (variables); $j-2$ (dimensiones); $k-7$ (parámetros)

A partir del número de variables de la expresión fundamental y de las dimensiones fundamentales M (masa), L (longitud) se obtuvo la expresión funcional sin dimensiones.

$$\Delta v/v_i = g(D_a/D_r, DPM/L, h, S, C) \quad \text{ECU 2.}$$

Dónde:

$\Delta V / V_i$ Cambio de volumen de suelo adimensional estimado como la pérdida de suelo en cada caja experimental.

D_a/D_r Parámetro adimensional de la relación de las densidades.

DPM/L Parámetro adimensional de la relación DPM y la longitud axial de la caja.

h humedad del suelo en cada caja

S, C Parámetros constantes

Con base a los resultados de la ecuación 2 se logra disminuir y correlacionar las 9 variables iniciales, dado que no se puede graficar el efecto de 9 variables se reduce estas para encontrar parámetros que las relacione y graficarlas en un plano de 2D es decir de dos ejes.

En la ecuación no se tuvo en cuenta la textura ya que la caracterización arrojó una clase textural de arcilla para toda la cárcava y no iba a tener influencia en el estudio al presentar una línea vertical en el plano 2D, es decir un solo valor de textura para varias estimaciones de pérdida de suelo.

4. RESULTADOS Y ANALISIS

Las tablas 19 y 20 que se presentan a continuación registran los datos que se obtuvieron de los análisis de las propiedades físicas y químicas iniciales de la zona de estudio con el fin de caracterizar los parámetros de la cárcava que fueron estudiados en el experimento.

ZONA	CARACTERIZACION							CLASIFICACION TEXTURAL
	HUMEDAD (%)	DPM (mm)	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	POROSIDAD (%)	MACROPOROS (%)	MICROPOROS (%)	
SUPERIOR	67,59	0,88	1,01	2,81	26,42	25,92	43,80	Arcilla
MEDIA	83,32	0,63	0,97	2,84	23,21	23,25	42,10	Arcilla
BAJA	71,16	0,86	0,98	2,73	11,88	23,82	44,64	Arcilla

Tabla 19. Caracterización Física de las propiedades incluidas en el estudio de la Cárcava; Fuente (Autor, 2014)

CARACTERIZACION	Zona		
	Alta	Media	Baja
pH(Relación 1:1)	6,10	5,80	5,90
Materia Orgánica (0/0)	0,99	0,36	0,82
Calcio Intercambiable (meq/100g)	3,67	1,24	3,77
Magnesio Intercambiable (meq/100g)	ND	1,74	1,30
Potasio Intercambiable (meq/100g)	0,28	0,06	0,21
Fosforo Asimilable (ppm)	3,85	2,23	1,14
CIC (meq/100g)	16,40	11,60	17,60
ELEMENTOS MENORES			
Cobre (ppm)	0,48	0,51	0,51
Zinc (ppm)	3,19	1,47	0,99
Manganeso (ppm)	0,04	0,10	0,08
Hierro (ppm)	32,66	42,07	40,52
Boro (ppm)	15,15	18,39	15,46

Tabla 20. Caracterización químicos de la cárcava; Fuente (Autor, 2014)

Es difícil clasificar el grado de erosión pero en el reconocimiento de la cárcava se podía observar en su cabecera que había sido removido los horizontes superficiales completamente y estábamos ante un horizonte sub-superficial expuesto, como es obvio ante una erosión severa, haciendo inferencia de la presencia de un horizonte C por su granulometría y coloración típica de este grado de erosión que en su mayoría son estratos o capas minerales (FAO, 2009).

Teniendo esta información observacional se esperaron los análisis de laboratorio registrados en tabla 19 los cuales por medio del DPM nos describe un terreno ligeramente estable rayando con los límites de la inestabilidad según la tabla 6 de clasificación, sumado a esto nos encontramos con unas densidades reales con valores entre 2,73 - 2,81 por encima del valor estándar establecido (ver interpretación metodología), estos valores tiene una dependencia de la composición mineral del suelo podrían indicar presencia de óxidos de hierro y de minerales como la moscovita y feldespatos los cuales tiene transformaciones en minerales de arcillas coincidiendo con la clase textural registrada de arcilla clasificada según la tabla 3 y la figura 6 donde se encuentra en la familia de arcillas muy finas la cuales frecuentemente tienen presencia de minerales con equivalente arcillosos de la Moscovita a la cual le oscila los valores de densidad real entre 2,8 – 2,9 dependiendo del mineral, algunos minerales se forman a partir de feldespatos y micas de rocas ígneas (Jaramillo D, 2002) y (Higueras, S.f) lo cual coincide con la información de la formación de estos suelos.

Ahora bien teniendo en cuenta las densidades aparentes entre 1,0 – 0,9 por debajo del valor promedio para suelos de texturas finas según información (ver interpretación en metodología) estos valores de D_a aunque no indican el deterioro del suelo reflejado en la degradación de la estructura por erosión, se pueden atribuir según la información de la tabla 3 del levantamiento de tierras a suelos minerales volcánicos con valores que se aproximan a 0,85 Mg m⁻³ (Porta, Lopez, & Roquero, 1999). La porosidad según la tabla 7 presenta valores muy bajos, además de observar que en el volumen de poros presentes en su mayoría son de microporos lo que es consecuente con la clase textural arcillosa, sumado a ello están los altos valores de humedad que coincide con los valores de % de microporos los cuales almacenan el agua que probablemente no está disponible o útil para plantas, de otro lado están los valores de % de macroporos, entendiendo que al no haber buena circulación del agua se transfiere en un mal drenaje asociado a la textura caracterizada, y supuniendo un periodo de sequía de los que suelen pasar en la zona y estando el suelo expuesto sin cobertura vegetal de producirse un aguacero generaría que el agua se mueva superficialmente arrastrando con ellas las partículas y alimentando el fenómeno estudiado.

Según la tabla 8 los datos registrados en la tabla 20 de la caracterización química de la cárcava nos registra en su mayoría valores bajos o muy bajos de forma general tanto de elementos mayores como menores en el estrato de suelo estudiado, a diferencia del Boro que presenta valores muy por encima de los que se consideran altos según la tabla de

clasificación 8, aunque no fue un elemento que afectara directamente el estudio de la evolución de las propiedades físicas evaluadas interfiere quizás en la fisiología de la planta sembrada; también se presenta una CIC media lo cual concuerda con un porcentaje de materia orgánica muy baja. Estamos ante un suelo que presenta un pH de moderadamente ácido al límite inferior de ligeramente ácido según la tabla 9; de alguna manera los valores analizados concuerdan con lo que se esperaba encontrar en la carcava es decir que por efectos del fenómeno, se hace necesario el aporte en la carcava de material orgánico y en su efecto mineral para observar algún cambio en el comportamiento de las variables físicas estudiadas teniendo en cuenta el factor determinante tiempo para obtener resultados significativos.

Los valores reportados en la tabla 21 son las características de las enmiendas desarrolladas en el marco de la tesis doctoral Recuperación de suelos con erosión hídrica en zonas de ladera del valle del Cauca por medio de valorización de residuos orgánico – minerales de Diana María Delgado, del cual hace parte este proyecto, razón principal para la escogencia de estas enmiendas a demás de que ellas reportan valores que cumplan con los requerimientos para ser utilizadas según la tabla 10, siendo apropiadas por su aporte de material orgánico y mineral, aquí es donde se tuvo en cuenta el enfoque del estudio o más bien la aplicación, en el caso del proyecto necesitamos hacer aporte de material orgánico y mineral para observar las posibles mejoras en las propiedades físicas que contribuyan a controlar el progreso del fenómeno en la carcava, estas características de las enmiendas son las necesarias para tener en cuenta en el experimento. Aunque no era un factor determinante en el estudio se les cuantificó el boro para observar que los niveles de este elemento no sumaran a los contenidos ya encontrados y según la tabla 8 los valores de boro encontrados en las enmiendas son bajos.

ENMIENDA	MATERIA ORGÁNICA TOTAL %	HUMEDAD %	BORO ppm
Búfalaza	42	29,4	0,3
Lombricompuesto	32	25,9	0,2

Tabla 21. Datos de humedad, % de Materia orgánica y boro de las enmiendas orgánicas implementadas; Fuente (Autor, 2014)

En la siguiente tabla se registra el promedio de los valores obtenidos de las propiedades físicas evaluadas en el laboratorio, se obtuvieron datos del comportamiento de los tratamientos en cada una de las zonas para las variables de humedad, diámetro ponderado medio DPM, densidad aparente D_a , densidad real D_r y porosidad total y además se calculó el % de materia orgánica para tenerlo en cuenta en los análisis.

MUESTRA	HUMEDAD PROM (%)	DPM (mm)	Da (g/cm ³)	Dr (g/cm ³)	POROSIDAD (%)	MATERIA ORGANICA (%)
S-T	53,65	0,29	0,92	2,78	66,77	0,57
S-TM	36,61	0,69	0,85	2,67	68,17	1,51
S-TB	41,12	2,02	0,79	2,31	65,88	3,25
S-TL	39,17	1,66	0,67	2,54	73,47	4,37
M-TM	40,56	1,07	0,88	2,74	68,00	1,70
M-TB	39,27	1,47	0,70	2,63	73,23	4,41
M-T	45,01	1,33	0,86	2,59	66,66	0,90
M-TL	39,98	1,35	0,89	2,97	68,09	2,93
B-TM	39,79	1,34	0,94	2,38	60,49	1,91
B-T	36,13	0,60	0,98	2,14	54,17	1,11
B-TL	36,17	1,49	0,85	2,29	62,76	3,20
B-TB	35,70	0,96	0,72	2,33	68,95	2,91

Tabla 22. Caracterización de las variables físicas (respuesta) obtenidos en el experimento bajo la influencia de las enmiendas; S: zona superior, M: zona media; B: zona baja; T: testigo; TM: tratamiento mineral; TB: tratamiento búfalaza; TL: tratamiento lombricompuesto; parámetros controlados S: pendiente y C: cobertura vegetal; (duración 4 meses en invernadero) Fuente: (Autor, 2015)

De los valores obtenidos del T- testigo de la tabla 22 se puede observar con respecto a la caracterización inicial de la cárcava tabla 19 que los valores de porosidad y DPM aumentaron, las densidades y la humedad disminuyeron en general, claro está que las comparaciones de los tratamientos en función de las propiedades se hacen respecto al testigo que se tenía para garantizar que la comparación sea válida, sin embargo se hizo la observación ya que el testigo también presento cambios con referencia a los valores de la caracterización inicial esto se debe quizás a que el testigo también estuvo bajo parámetros controlados como la pendiente y agua suministrada que al final se reflejaba en la medida de la húmedas, variables que son de gran influencia en el fenómeno erosivo.

Entonces retomando el análisis se tiene que:

Diámetro ponderado medio DPM

En la zona superior el valor más alto de DPM lo obtuvo la TB con un valor de 2,02mm, seguido del TL 1,66mm, valores que entren en una clasificación de un suelo moderadamente estable según la tabla 6, el TM quedo en un intervalo de ligeramente estable al límite de coincidir con el T en una estimación de un suelo inestable.

En la zona media nuevamente el valor más alto de DPM que es lo que se desea lo obtuvo el TB con un valor de 1,47mm, sin embargo el TL, TM y el T obtuvieron valores que entran en mismo intervalo de clasificación de suelo ligeramente estable.

En la zona inferior el comportamiento cambio en esta parte el valor más alto de DPM lo obtuvo el TM con un valor de 1,34 mm, seguido del TL Y TB que entran de nuevo en la misma clasificación de ligeramente estables a diferencia del T que cae en valor de 0,6 al límite de suelos inestables.

Se observa que aunque los valores de DPM aumentaron entran en los intervalos de ligeramente o moderadamente estables persistiendo en su vulnerabilidad a la erosión, esto no indica que no hallan mejoras pero hay que tener muy en cuenta el factor tiempo para observar si esos cambios pueden ser significativos o no, ya que el análisis estadístico no arrojó diferencias significativas de los valores tomados de DPM para cada tratamiento, se obtuvo que todos presentan similitud en su comportamiento.

Densidad aparente Da

En la zona superior en todos los tratamientos se presentan densidades por debajo del valor estándar de clasificación (ver metodología) para suelos de texturas finas como se cuantifico la cárcava, probablemente estos valores reflejan el aporte de materia orgánica y nutrientes en esta al suelo, aunque el T (testigo) entra en este mismo análisis es el que presenta el valor más alto de 0,92.

En la zona media y baja no se presta algo muy diferente al de la superior sin embargo en ambas zonas los valores más bajos de densidad lo obtuvo el TB, y teniendo mucha proximidad entre si los valores del T y el TM.

La disminución en el valor de la densidad aparente en los TB y TL se le atribuye al aporte de materia orgánica de las enmiendas, lo que lo confirma el TM que se asemejo mucho al testigo, si a esto le sumamos el comportamiento de la porosidad la cual aumento consecuentemente con la disminución en la Da; en esta parte se observa que los porcentajes más altos de porosidad los obtuvo el TL quizás por el efecto de las lombrices en la construcción de macroporos, sin embargo en general los valores más bajos de Da los obtuvo la búfalaza como sabemos este tipo de enmienda con el estiércol tiende a ocupar más espacio y a pesar menos por lo que se refleja en valores menores.

Densidad real Dr

En la zona alta se observa que todos los valores están muy cercanos al valor referencia que se tiene (ver metodología) a diferencia del T que presentan valor superior que concuerda con la caracterización inicial, el valor de Dr del TM coincide con el estándar y los valores de los TB y TL están por debajo del valor estándar también se le atribuye al aporte de materia orgánica por parte de las enmiendas, o algún macro o micro nutriente que ellas contengan.

En la zona media hay una ligera variación del comportamiento donde el valor por encima del estándar lo obtiene el TL seguido del TM por el contrario tenemos que el T y el TB se acercan a este valor deseado de densidad real para un suelo.

En la zona baja todos los valores incluido el del T se encuentra por debajo del valor estándar encendiéndose en los TB TM Y TL pero en el testigo se infiere que desde lo que se obtuvo en la caracterización inicial era la zona que presentaba el valor más bajo de densidad real.

Los valores de Dr están ligados también a los posibles aportes de minerales que hacen que este valor aumente o disminuya, para saber si tanto estos valores de Dr como los de Da tuvieron un cambio significativo respecto al testigo observar su análisis estadístico.

Con el aporte de material orgánico o mineral al suelo y las apropiadas actividades sobre este recurso se esperaría obtener una mejora por lo menos en la parte física del suelo lo que observamos es que la %MO aportada según los niveles críticos para el contenido de materia orgánica del suelo, de acuerdo a las condiciones climáticas que se presentaron en la zona (ver tabla 3) en el T y en el TM los valores son bajos ya que se encuentran por debajo de 3 y en los TB y TL estos valores son medios según (ICA, 1992) citado por (Jaramillo D , 2002).

Sin embargo en el TL y TB se le atribuye a este aporte la obtención de valores de porosidad excelentes según la tabla 7 sin embargo se espera es que el aumento sea de % macroporos para facilitar el movimiento del agua y su disponibilidad, los contenidos de humedad se mantuvieron en un intervalo del 30 - 50 % estos valores entran en el intervalo de % retenido de humedad para suelos arcillosos a capacidad de campo, el cual oscila de 25 – 75 % humedad retenida lo que fue bueno para el desarrollo del estudio ya que la idea era controlar de alguna manera esta variable (Física de suelos-IGAC, 1990) citado en el documento (Pernett, 2006). Sin embargo se observa que el T y el TM en todas las zonas fueron los que presentaron valores más altos de humedad traducida quizás en agua no disponible consecuentemente que a ninguno de los dos se le aportó material orgánico. Todos estos porcentajes de humedad siguen muy acorde con la textura la cual como era de esperarse ya que es un variable pero de zona a zona más no cambia fácilmente dentro de la misma área de estudio, reportando la misma clasificación arcillosa al final del estudio.

En el análisis del desarrollo se la cobertura vegetal sembrada se observa (ver anexo 2 figura 18 y 19) se observó que donde se implementó el TB y el TL hubo una germinación del maní forrajero y de otras especies como rastrojo, seguramente por lo que hemos analizado anteriormente de las propiedades evaluadas, por otro lado en el TM no hubo germinación corroborando lo que ya se ha dicho del comportamiento de este TM, el cual tuvo una semejanza al testigo. Se observó que los estolones sembrados en este TM se quemaron quizás porque no fue adecuada la escogencia del mineral o como era de esperarse en este tipo de degradación lo que se debe hacer es aporte material orgánico.

Referente a otros estudios realizados como los de la tabla 1 podemos decir que coinciden con los resultados que ellos obtuvieron al aportar materia orgánica con diferentes tratamientos y/o implementación de coberturas vegetales, siempre obtenían mejoramiento en las propiedades físicas del suelo específicamente en la disminución de las densidades y aumento de los agregados, es decir el estudio realizado no se aleja de lo esperado con referencia a la implementación que se realizó con enmiendas orgánicas y minerales, por ello es necesario trabajar con base en estudios previos que aporten y ayuden a interpretar que lo que se está haciendo tiene una lógica.

Análisis estadístico

En el anexo 3 las figuras 21, 24, 27, 30, y 33 representan el comportamiento de los datos, de forma general en las figuras se observa que cumplen el supuesto de normalidad, aunque se presenten valores por encima y por debajo de la línea recta se observa que su comportamiento es similar al de una recta.

Teniendo en cuenta que se obtuvo una distribución normal de los datos, se realiza el análisis estadísticos de las variables respuesta de las cuales se obtuvieron los siguientes datos de las pruebas Anova de dos factores y la prueba Bartlett para la igualdad de varianzas (valor P) esta igualdad de varianzas se puede confirman con la gráfica de residuos y ajustes (ver anexo 3, figuras 20, 23, 26, 29, 32).

VARIABLE	VLOR P	F Teórico bloque	F Calculado bloque	F Teórico tratamiento	F Calculado tratamiento
DPM	0,373	6,94	0,23	6,94	0,69
HUMEDAD	0,137	6,94	1,1	6,94	0,04
Da	0,511	6,94	0,56	6,94	2,47
Dr	0,780	6,94	8,97	6,94	1,71
MO	0,265	6,94	0,23	6,94	5,83

Tabla 23. Valores de Fisher y P valor para la interpretación estadística; Fuente (Autor, 2015)

En la tabla 23 se registran todos los valores F teóricos y F calculados de Fisher y valores p del análisis de varianza de los tratamientos y de los bloques, para todas las variables, con el fin de encontrar si hay diferencias significativas entre los tratamientos en cada variable, y si los bloques presentan influencia sobre los valores de estas variables, es decir si las zonas influyen en el comportamiento de las variables. En la tabla se observa que el valor P para todas las variables es superior a 0,05 lo que quiere decir que cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, (ver anexo 3 figuras 22, 25, 28, 31,34).

Según el diseño estadístico descrito en la metodología para los análisis de los valores de Fisher de la tabla 23, se obtiene lo siguiente:

VARIABLE	DIFERENCIA SIGUFICATIVA	
	BLOQUES	TRATMIENTOS
DPM	NO	NO
HUMEDAD	NO	NO
Da	NO	NO
Dr	SI	NO
MO	NO	NO

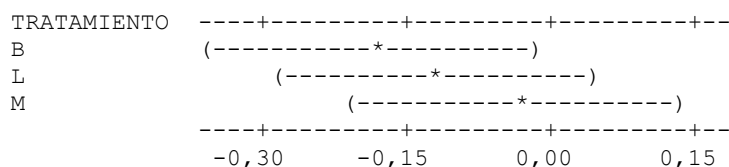
Tabla 24. Variables que presentan o no presentan diferencia significativa entre los tratamientos y en los bloques; Fuente (Autor, 2015)

Como se registra la tabla se reporta que no hay diferencias entre los bloques, es decir, que las zonas no tiene influencia sobre ninguna de las variables a excepción de la Dr, como este valor depende en gran medida del material parental y es un valor respuesta de la masa de las partículas sólidas en cada zona, puede que aquí radique la diferencia lo cual concuerda con la inferencia que se hizo de la tabla 22, donde los valores de Dr más bajos se obtiene en la zona baja y todos estaban por debajo de los estándares de clasificación y los valores semejantes se obtiene en la zona media y alta, esto se puede atribuir a que cuando llueve se arrastran partículas con diferentes contenidos de minerales o nutrientes a la parte baja de la cárcava, otra anotación es que los vientos de la zona son fuertes y también arrastran partículas fértiles o de otros materiales de los alrededores, a la zona de estudio.

Para realizar un análisis más exhaustivo se hace la prueba Dunnett con la cual se confirma que tratamiento o tratamientos presentan diferencia significativa respecto al testigo, se hace la prueba para confirmar o rechazar la hipótesis de igualdad de tratamientos al testigo.

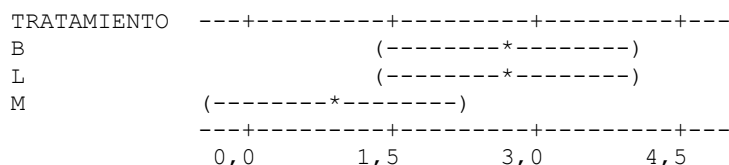
A continuación se presenta los intervalos que arrojo la prueba Dunnett donde se identifica para la Da que el tratamiento de la Búfalaza presenta diferencia respecto al tratamiento control ya que no contiene al cero en su intervalo (ver anexo 3 prueba Dunnett – intervalos de confianza 95% para Da)

Comparaciones con el nivel de control para Da



Con la prueba también se encuentra que para la variable respuesta MO el tratamiento con lombricompost y búfalaza presentan diferencias significativas respecto al testigo al no contener el cero en sus intervalos, como se muestra a continuación (ver anexo 3 prueba Dunnett – intervalos de confianza 95% para MO)

Comparaciones con el nivel de control para MO



La prueba anterior nos confirma que el tratamiento con búfalaza como se había analizado anteriormente era el que estaba presentando los mejores comportamientos para la mejora de las propiedades físicas evaluadas, en este caso solo reporto que esos valores son significativos en la variable de densidad aparente, esto coincide con el aporte de MO por parte del TL y TB ya que son los que presentan diferencia significativa respecto al testigo, representados en valores más bajos de Da reportados en estos dos tratamientos.

Ahora es necesario tener claro que tratamientos presentan similitud o están generando efectos distintos en estas dos variables respuesta que presentaron diferencias respecto al testigo; esto se realiza por medio de la prueba tukey la cual arroja valores de centro de intervalos de cada tratamiento (ver anexo 3 Anova unidireccional de Da vs Tratamientos y de MO vs Tratamientos) los cuales se comparan con el valor obtenido de tukey para un nivel de significancia de 0,05, en el caso de:

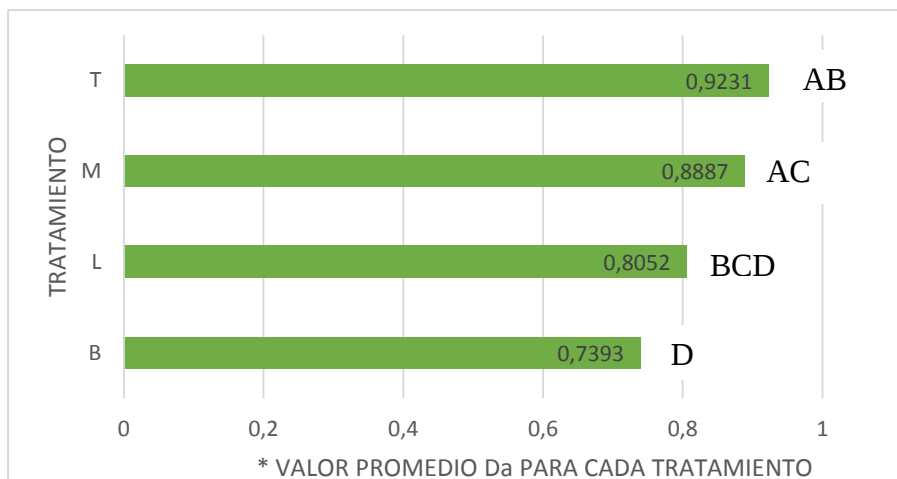
Densidad aparente

$T_{0,05} = 0,1331$ este valor debe ser mayor de los valores de centro para cumplir el supuesto de que los tratamientos respecto al testigo en la variable respuesta Da tienen el mismo efecto (ver anexo 3, prueba tukey para Da)

Materia orgánica

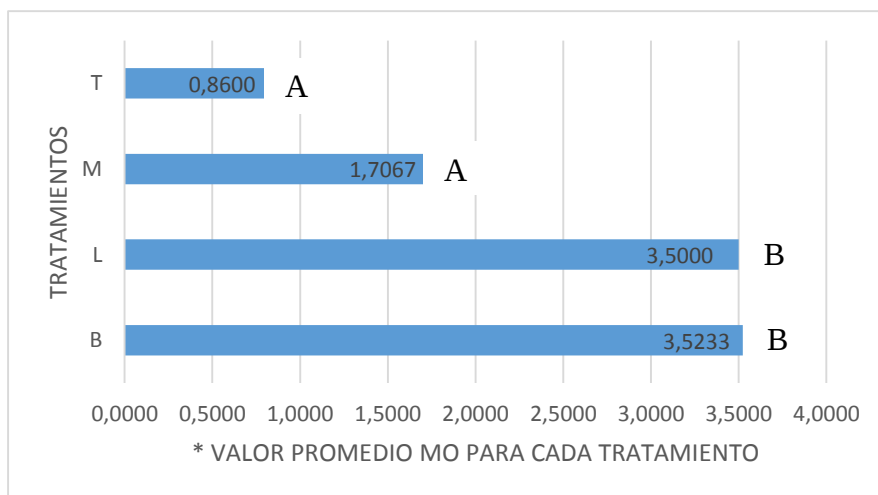
$T_{0,05} = 1,0623$ este valor debe ser mayor de los valores de centro para cumplir el supuesto de que los tratamientos respecto al testigo en la variable respuesta MO tienen el mismo efecto (ver anexo 3, prueba tukey para MO)

Después de realizar todas las comparaciones con los centros de cada tratamiento y el valor tukey calculado, es decir los análisis de comparación ($T > \text{centro}$ iguales; $T < \text{centro}$ hay diferencia significativa), se realiza una gráfica teniendo en cuenta las medias de los tratamientos (ver anexo 3 Da y MO prueba Tukey) donde se representan con letras, los tratamientos que tuvieron igual comportamiento y los que presentaron diferencias significativas, como se muestra a continuación:



Grafica 1. Comparación de las medias de la Da para cada tratamiento; si las barras tiene la misma letra significa similitud en los tratamientos para la Da; si las barras no comparten letra significa diferencia significativa en los tratamientos para los valores de Da. T: Tratamiento testigo; M: Tratamiento mineral; L: Tratamiento Lombricompuesto; B: Tratamiento Búfalaza; Fuente (Autor, 2015)

En la anterior grafica se observa que el T y TM tiene la letra A lo que representa similitud en los tratamientos respecto a la variable de densidad aparente, el TL presenta similitud tanto con TM como con el TB, y el TB como el TL presentan diferencia significativas con el testigo T, análisis que coincide con lo reportado e interpretado desde la parte de tablas de clasificación donde se evidencia que el mejor comportamiento lo ha venido presentado el tratamiento con búfalaza seguido del lombricompuesto, obteniendo valores de Da que reportan mejores condiciones o mejoras de esta por efectos del aporte de materia orgánica según las diferencias significativas que se registran en la gráfica 2.



Grafica 2. Comparación de las medias de la MO para cada tratamiento; si las barras tienen la misma letra significa similitud en los tratamientos para la MO; si las barras no comparten letra significa diferencia significativa en los tratamientos para los valores de MO. T: Tratamiento testigo; M: Tratamiento mineral; L: Tratamiento Lombricompuesto; B: Tratamiento Búfalaza; Fuente (Autor, 2014)

La grafica 2 nos confirma los análisis previos que se tenían sobre esta variable respuesta es decir se venía observando que el T y el TM presentaban comportamientos similares y estaban y que el TB y el TL se asemejaban mucho en su aporte de MO, pero ahora se puede confirmar estadísticamente los comportamientos al presentar la misma letra A para el T y el TM y la misma letra B para el TB y TL.

Análisis dimensional

En la tabla 25 se presentan los datos obtenidos para realizar la ecuación de análisis dimensional de las variables físicas estudiadas, los datos de profundidad registrados son el promedio de registro semanal de valores de profundidad tomados en las cajas, obteniendo el valor de las profundidades finales que allí se presenta. Otra anotación importante fue que se planteó sacar bloque con 10 cm de profundidad y una de las actividades más dispendiosas del proyecto fue el muestreo de los bloque, la idea era disturbarlos lo menos posible por lo que se consideró tomar los bloques que salieran correctamente, utilizarlos teniendo en cuenta la profundidad inicial y que se encontrara en un intervalo aproximado de 5- 10 cm.

Área Caja (cm ²)	1037						
Muestra	Prof. Final Prom [cm]	Prof. Inicial Prom [cm]	Descenso suelo [cm]	Volumen final cajas [cm ³]	Volumen Inicial cajas [cm ³]	Delta volumen [cm ³]	Estimación de Perdida de Suelo (%)
S-T	4,00	8,40	4,40	4148,00	8710,80	4562,80	52,38
S-TM	6,60	9,40	2,80	6844,20	9747,80	2903,60	29,79
S-TB	8,70	10,20	1,50	9021,90	10577,40	1555,50	14,71
S-TL	8,58	10,30	1,72	8894,50	10681,10	1786,60	16,73
M-TM	5,40	8,40	3,00	5599,80	8710,80	3111,00	35,71
M-TB	7,36	9,60	2,24	7629,36	9955,20	2325,84	23,36
M-T	5,96	9,60	3,64	6177,56	9955,20	3777,64	37,95
M-TL	6,90	10,00	3,10	7155,30	10370,00	3214,70	31,00
B-TM	4,16	7,30	3,14	4310,96	7570,10	3259,14	43,05
B-T	5,04	8,40	3,36	5226,48	8710,80	3484,32	40,00
B-TL	7,76	9,30	1,54	8044,16	9644,10	1599,94	16,59
B-TB	6,67	7,90	1,23	6918,27	8192,30	1274,03	15,55

Tabla 25. Datos iniciales y finales de profundidad y volumen de suelo en las cajas. Bajo la influencia de las enmiendas; S: zona superior, M: zona media; B: zona baja; T: testigo; TM: tratamiento mineral; TB: tratamiento búfalaza; TL: tratamiento lombricompuesto; Fuente: (Autor, 2015).

De la tabla anterior se observa que a partir de los datos de descenso de suelo conocidos se obtuvieron los volúmenes finales y conocidos los valores iniciales de volumen, se calcularon los cambios de volumen de suelo en las cajas experimentales.

De la ecuación dimensional (ECU 1) de donde se obtuvo la ecuación adimensional (ECU 2), se construyó la tabla 23 la cual registra los valores adimensionales del cambio de volumen reflejado en la estimación de la pérdida de suelo en función de las variables físicas adimensionales evaluadas bajo la influencia de las enmiendas implementadas.

De la ecuación se estimó como se registra en la tabla 26 que el mayor porcentaje de suelo perdido lo presentó el T testigo en la zona alta, además de ser consecuente en las otras dos zonas registrando las mayores pérdidas de suelo, sin embargo se observa que el TM presenta valores muy semejantes de pérdida de suelo del T; por otro lado el TB y TL presentan valores más bajos siendo TB el que registra el mejor comportamiento en las tres zonas.

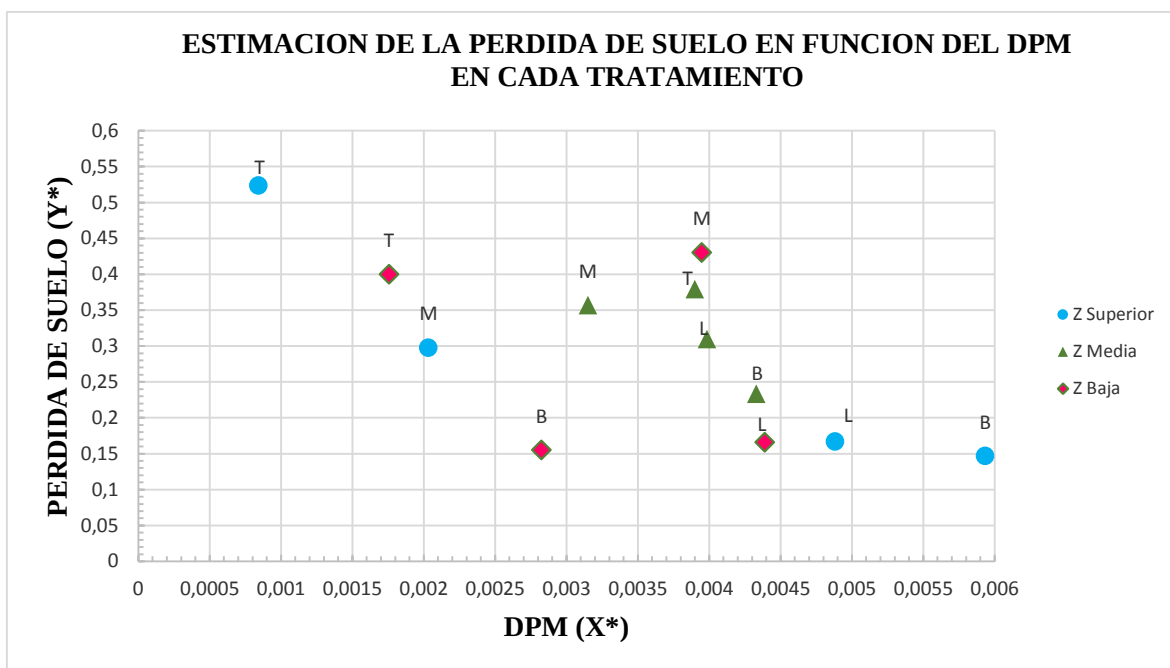
Teniendo en cuenta el análisis estadístico donde se afirma que las TB y TL presentan similitud en su comportamiento, se confirma en el promedio de pérdida de suelo de solo un 3,6% del TL respecto al TB.

	Long Axial (mm)	340				
	Y*		X*			X**
Muestra	Pérdida de suelo [adim]	DPM [mm]	DPM [adim]	Da [gr/cm3]	Dr [gr/cm3]	Da/Dr [adim]
S-T	0,52381	0,28599	0,00084	0,92382	2,77992	0,33232
S-M	0,29787	0,69093	0,00203	0,85017	2,67094	0,31830
S-B	0,14706	2,01726	0,00593	0,78914	2,31283	0,34120
S-L	0,16727	1,65946	0,00488	0,67340	2,53831	0,26529
M-M	0,35714	1,07105	0,00315	0,87753	2,74254	0,31997
M-B	0,23363	1,47223	0,00433	0,70497	2,63340	0,26770
M-T	0,37946	1,32593	0,00390	0,86490	2,59418	0,33340
M-L	0,31000	1,35452	0,00398	0,94697	2,96761	0,31910
B-M	0,43053	1,34262	0,00395	0,93855	2,37520	0,39515
B-T	0,40000	0,59720	0,00176	0,98064	2,13952	0,45834
B-L	0,16590	1,49244	0,00439	0,85227	2,28880	0,37237
B-B	0,15552	0,96042	0,00282	0,72391	2,33140	0,31050

Tabla 26. Datos adimensionales de la pérdida de suelo en función de los parámetros adimensionales de DPM, Da y Dr; donde Y*, X* y X** designa adimensional; Fuente: (Autor, 2015).

La tabla 26 nos permitió realizar dos graficas con las cuales se puede inferir acerca de la estimación de la pérdida de suelo en función de los valores de las propiedades físicas involucradas en el estudio teniendo en cuenta los tratamientos implementados.

Donde Y*, X* y X** indican variables adimensionales se realizaron las siguientes graficas:



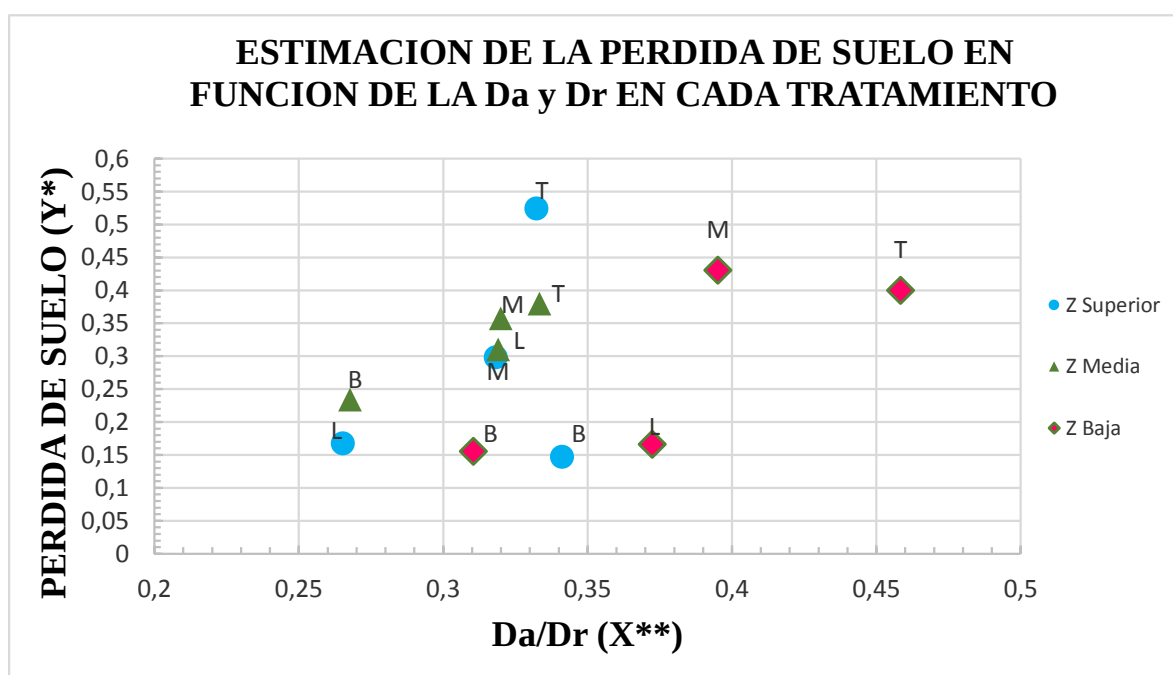
Grafica 3. Estimación de la pérdida de suelo en función de la variable adimensional DPM bajo la influencia de enmiendas: T: testigo; M: mineral; B: búfalaza; L: lombricompuesto; S (pendiente) y C (cobertura vegetal) constantes; Fuente: (Autor, 2015).

De la gráfica anterior se puede observar que el TB en la zona superior presentó el valor más alto de DPM y a su vez el menor porcentaje de pérdida de suelo del 14%, es decir el 86 % del suelo estuvo estable, comparado con el testigo de la zona superior que presentó la mayor pérdida de suelo con 52% y el menor valor de DPM, es decir en el T (testigo) se perdió un 38% de suelo más que en el TB de la zona superior, en cuanto a los TL presentaron el mismo comportamiento a mayor DPM menor pérdida que era lo esperado, el TM registró valores similares al T.

En la gráfica se observa que posiblemente los valores del DPM a simple vista son diferentes pero como se analizó anteriormente con la tabla 6 de clasificación estos valores caían en el mismo intervalo de clasificación de estudios de años y estandarizaciones, lo que me atrevería a inferir de acuerdo a lo analizado que no presentan diferencias significativas esto se confirma en el análisis estadístico que reporta un comportamiento similar en todos los tratamientos para el DPM. Lo anterior se refleja en la gráfica cuando observamos que el TB y TM obtuvieron pérdidas de suelos similares a diferentes valores de DPM comportamiento que nos está dando a entender que aunque ese valor de DPM no es significativo estadísticamente su valor hace una diferencia en el estudio; en este caso quizás por lo que explique, de otro lado está el tratamiento con búfalaza que tanto a menores como a mayores valores de DPM presentó el menor porcentaje de pérdida de suelo en todas las zonas, el tratamiento del lombricompuesto presenta una pérdida de suelo igual a diferentes DPM en la zona alta y baja en la zona media presenta un DPM menor y mayor pérdida de suelo como es de esperarse, sin embargo es el que sigue en menor porcentaje de suelo

perdido, finalmente el T presenta el mayor porcentaje de pérdida de suelo y menores relaciones del parámetro adimensional de (DPM/Laxial); el TM se asemeja en gran medida al T.

Otro análisis puede referirse a lo encontrado estadísticamente donde no se registran diferencia significativas de los valores de DPM para los tratamientos implementados, lo que se puede analizar en la gráfica 3, diciendo que para valores similares de DPM se presentan diferentes % de pérdida de suelo, Es decir, observamos valores de DPM como los del TM de la zona baja y el TL de la zona media son similares 1,34 y 1,35 respectivamente no hay diferencia entre estos valores, pero su comportamiento en conjunto con el mejoramiento de las demás variables evaluadas, reporta mayor pérdida de suelo el TM (43%) que en el TL (31%) con DPM iguales estadísticamente.



Grafica 4. Estimación de la pérdida de suelo en función de la variable adimensional DPM bajo la influencia de enmiendas: T: testigo; M: mineral; B: búfalaza; L: lombricompuesto; Constantes S (pendiente) y C (cobertura vegetal); Fuente (Autor, 2014)

Según lo que se observa en la gráfica 4 hay una coherencia en el comportamiento de los tratamientos y de la relación de las densidades con referencia a lo que se encontró en la gráfica 3. En esta se observa que el T de la zona superior presentó el mayor porcentaje de suelo perdido y el TB de la misma zona fue el de menor porcentaje de suelo perdido pero ambos presentan un valor muy cercano de relación de densidades sin embargo esta relación se asemeja por que el testigo obtuvo ambos valores de densidades altos y la Búfalaza fue al contrario ambos valores más bajos; de nuevo el TL presenta semejanzas al TB y el TM al T. Esto indica que la densidad adimensional del suelo tratado con enmiendas orgánicas es menor a las de los respectivos suelos testigo y TM; lo que nos permite inferir que los

tratamiento que aporten materia orgánica mejoran las propiedades porosas del suelo disminuyendo finalmente sus densidades aparentes.

A continuación se presenta una tabla de la estimación en % de la diferencia de pérdida de volumen de suelo de los tratamientos respecto al testigo.

REF	PROPORCIONES DE LA PERDIDA DE SUELO DE LOS TRATAMIENTO RESPECTO AL TESTIGO (%)
S-T-TM	22,59
S-T-TB	37,68
S-T-TL	35,65
M-T-TM	2,23
M-T-TB	14,58
M-T-TL	6,95
B-T-TM	-3,05
B-T-TL	23,41
B-T-TB	24,45

Tabla 27. Datos estimados en % de la diferencia de pérdida de volumen de suelo de los tratamientos respecto al testigo; T: testigo; M: mineral; B: búfalaza; L: lombricompuesto; S (pendiente) y C (cobertura vegetal) constantes; Fuente (Autor, 2015).

En la tabla 27 se muestra que el TB obtuvo porcentajes de pérdida de suelo entre el 37 y 14 % menos que el T, seguido del TL entre 35 y 6% menos pérdida de suelo que el T; en el TM aunque tuvo diferencias de pérdida en la zona baja registro un 3% más de pérdida que el T, esto último se evidencio en las tablas de caracterización donde el TM presentaba valores más altos de densidades, entre los tratamientos que presentaban comportamientos similares estadísticamente como el TL y TM

La adimensionalización de la ecuación de la pérdida de suelo propuesta teniendo en cuenta la literatura, y otros estudios (ver tabla 1) permito establecer las variables con mayor influencia que intervienen en el fenómeno físico y correlacionar estas variables de manera tal que la expresión sin dimensiones conserve las evidencias del conjunto de datos recolectados. A partir de la obtención de estos parámetros también se logró conocer los de mayor relevancia sobre la variable de interés, siendo esta la proporción del suelo transportado respecto a la muestra inicial. La influencia de las propiedades de las partículas de suelo son finalmente las que provocaron mayor variación, con esto nos referiremos a las dimensiones de las partículas (DPM) y a su relación de densidades, con base a esto se decidió graficar la variable de interés versus estos parámetros. Este resultado está en acuerdo con lo esperado; de manera que hubo alguna incidencia de las enmiendas usadas, primero sobre las características finales de las propiedades del suelo y en segunda instancia sobre el total de suelo removido a causa de los riegos de agua al ensayo; es decir que la aplicación de enmiendas sobre el suelo provocaron diferentes cambios sobre sus diámetro y

densidades características respecto al suelo testigo. Un tercer parámetro que permite conocer como intervienen las fuerzas de cuerpo sobre el arrastre total fue el grado de pendiente ensayado el cual fue fijo para el total de probetas, queriendo con esto poder conocer la influencia de los parámetros encontrados de las propiedades del suelo (DPM y D_a/D_r). Los parámetros finales que se interpretan como fuerzas de superficie son la Humedad y las prácticas de conservación (cobertura vegetal), estos al igual que la pendiente se mantuvieron constantes para provocar el mismo objetivo o efecto. Cabe señalar que lo más difícil de la prueba fue conocer las condiciones reales de la humedad de las probetas en la toma de información, ya que se monitoreaban pero siempre iban a variar dentro de un intervalo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos el Tratamiento que tuvo el mejor comportamiento y apporto al mejoramiento del DPM, la Da, Dr, y la porosidad fue la enmienda de la Búfalaza quien registro de manera general los valores más bajos de densidades y los valores más altos de DPM, lo que se vio reflejado con pérdidas en promedio del 17,87% para este tratamiento, mientras en el testigo se estimó que en promedio se pierde el 43,5% de suelo.

Se presentaron diferencias significativas en el tratamiento de la búfalaza y el lombricompuesto para los valores de densidad aparente cuantificados, esto se atribuye a la diferencia significativas también reportadas sobre el aporte de materia orgánica que presentaron estos dos mismos tratamientos respecto al testigo, por el contrario el tratamiento del mineral presento similitud o igualdad estadísticamente con el testigo.

Las diferencias significativas que se observaron en las medias entre los tratamientos permitieron diferenciarlos estadísticamente, es evidente que el aporte de materia orgánica (TB y TL), provoca una disminución en las densidades y fomenta la formación de agregados, los cuales posiblemente asociados al mejoramiento de otras características (biológicas) y el factor tiempo logren la estabilización del terreno, mejorando las propiedades físicas.

Se obtuvo que no hay diferencia en analizar los valores obtenidos por las variables respuestas evaluadas en cada zona, es decir se pueden analizar de forma general la cárcava, ya que al tomar estas zonas como bloques en el diseño estadístico no presentaron diferencias significativas entre bloque lo que quiere decir es que la zona no influye en las variables respuesta que están bajo la influencia de los tratamientos implementados en el estudio. La única variable que presento diferencia significativa entre zonas fue la densidad real esto se atribuye a que, es una propiedad que depende en gran medida de la composición mineral de los sólidos del suelo y evidentemente el fenómeno erosión la parte alta de una cárcava puede presentar diferente composición mineral o presencia de macro o micro nutrientes que la parte baja de la misma, debido al lavado de material.

El uso de enmiendas orgánicas beneficio el mejoramiento de las propiedades físicas estudiadas, se puede inferir que evolucionaron con la incorporación de materia orgánica, mas no con la incorporación de mineral, esto se puede atribuir las variables del estudio están ligadas al contenido de materia orgánica, la enmienda mineral no aporta lo necesario para generar un cambio en ellas, sin embargo también puede ser la escogencia de la enmienda mineral la que determine posibles cambios, ya que cuando se tiene una enmienda organomineral esta ayuda a preservar la MO en el suelo (Madero, y otros, 2013).

Con el estudio podemos evidenciar que aunque no somos formadores de suelo se puede participar en su recuperación, en este caso en su recuperación desde la parte física aportando no solo material orgánico si no cobertura vegetal que ayude amortiguar los demás efectos que participan en el fenómeno erosivo (lluvia, escorrentía e infiltración, entre otros).

El uso de la ecuación adimensional fue de gran importancia ya que estadísticamente no se reportaba diferencia significativa en la mayoría de las variables respuesta en el caso específico del DPM, con las gráficas de la ecuación se encontraba que en realidad los tratamientos por lo menos de búfalaza y clombricompuesto si estaba produciendo efecto sobre esta variable que se veía reflejado en menos porcentaje de pérdida de suelo respecto al testigo y en comparación con el mineral, bajo los mismos valores de DPM.

La diferencia significativa presentada para la densidad aparente en el tratamiento de la búfalaza respecto al testigo se atribuye a la diferencia que este mismo tratamiento presentó en el aporte de MO al suelo.

El modelo adimensional propuesto involucra propiedades como la porosidad, la densidad real y aparente, la estabilidad de agregados, la humedad y parámetros constantes como la pendiente, control de la humedad y cobertura, lo que le da al modelo una extensibilidad ya que de una zona a otra varían las propiedades del suelo más no las relaciones de proporción y comportamiento físico encontrados bajo las consideraciones establecidas.

Se considera que los objetivos planteados al inicio de la investigación han sido cubiertos satisfactoriamente en la medida en que se ha obtenido resultados con los cuales se pudo observar el comportamiento de las variables de estudio bajo los efectos de los tratamientos, sumado a ello se desarrolló una relación funcional adimensional propia para una porción infinitesimal de suelo, que incluye las variables físicas más influyentes en el fenómeno erosivo.

La interpretación de los parámetros adimensionales caracteriza de buena forma el comportamiento de DPM, la D_a , D_r y la humedad, en la estimación de la pérdida de suelo bajo la influencia de enmiendas orgánicas y minerales, se reitera el hecho de que la investigación considere datos de una zona en particular con el fin de poder validar la relación funcional obtenida y definir los grupos funcionales dominantes, hecho que potenciaría mucho más la interpretación de los resultados.

RECOMENDACIONES

El estudio se enfoca en abarcar desde la física del suelo el fenómeno erosivo severo, aportando un procedimiento confiable para identificar, seleccionar y tratar las variables físicas involucradas en el fenómeno erosivo, por tanto se recomienda realizar investigaciones similares donde se puedan involucrar las demás variables que participan en este fenómeno asociadas a la precipitación, infiltración y escorrentía para generar modelos que nos brinden perspectivas más reales de la interacción y relación de las variables en el fenómeno de erosión y así poder mejorar en las técnicas planteadas de recuperación y mejoramiento de los suelos afectados por erosión.

Cuando se abarca el problema erosivo es necesario identificar la causa y definir la aplicación que se le va a dar a la recuperación es decir no es lo mismo recuperar un suelo para la agricultura que para la disminución de riesgo o generación de impacto visual, de ello depende el grado de erosión que se presente, el aporte de materia orgánica y de nutrientes que se haga además de todos los fatos que están influyendo de tipo social y económico.

Después de analizar los resultados en laboratorio sobre la enmienda que obtuvo el mejor comportamiento en el mejoramiento de las propiedades y aporte de material orgánico, bajo condiciones determinadas, seguramente será selecciona para ser implementada en campo se recomienda que su implementación debe ir acompañada de ser necesario de otras actividades como:

- Manejo del agua de escorrentía mediante la construcción de canales secundarios y o primarios con disipadores de energía, que permitan evacuar el agua superficial de forma adecuada, con fin de reducir la cantidad de agua que llega al área de deslizamiento.
- Manejo de coberturas densas que se den en la misma zona o se puedan adaptar a ella (recomendadas de estudios previos), para evitar el socavamiento y arrastre de sedimentos del mismo y se proteja del impacto de las gotas de la lluvia.
- Suavización del talud mediante obras de mecanización manual del material con mayor posibilidad de derrumbarse a fin de conseguir una pendiente apta para la realización de las obras.
- Construcción de barreras vivas, mediante la siembra de especies vegetales y especies nativas, que reduzcan el escurrimiento superficial y detengan el suelo transportado, fortalecer las barreras con la implementación de trinchos de y siembra de estacas de ser necesario.

REFERENCIAS

- Acosta , Y. (2006). *Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos*. Recuperado el 23 de Abril de 2013, de <http://www.redalyc.org/pdf/904/90430107>
- Alcaldia de la cumbre, V. (2014). *Nuestro municipio - informe general*. Obtenido de http://www.lacumbre-valle.gov.co/informacion_general.shtml#geografia
- Alvares, J., & Fernandez , J. (2009). Evaluacion de la erosion de un inceptisol de tunja con difrentes coberturas al impacto de lluvia simulada. *Ingenieria e investigacion* , 29.
- Amezquita, E. (1998). *Propiedades físicas de los llanos orientales y sus requerimientos de labranza*, En: ROMERO. C. G; ARISTIZABAL, Q. D y JARMILLO. S. C. *Memorias encuentro nacional de labranza de conservación*, Villavicencio, Meta, Colombia. Recuperado el 27 de Abril de 2013, de http://webpc.ciat.cgiar.org/suelos/e_nacionales/propiedades_fisicas.pdf
- Argel, P., & Pizarro, E. (1992). *Germplasm case study; Arachis pintoi. in pastures for the tropical lowlands: CIAT, Cali*.
- Argel, P., Villarreal, M., & CIAT. (1997). *Leguminosa herbácea para alimentación animal, el mejoramiento y*.
- Blanchart, E., Villenave, C., & et al. (2006). *Long-term effect of alegume cover crop (Mucuna pruriens var. utilis) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. European Journal Soil Biology*. Recuperado el 3 de Febrero de 2014, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S116455630600063X>)
- Cardei, P. (2010). The Dimensional Analysis of the USLE - MUSLE soil erosion model. págs. 249-253.
- Cenicafé. (2010). *Riesgo a la erosion en suelos de ladesra de la zona cafetera*. Recuperado el 17 de marzo de 2015, de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/404/1/avt0400.pdf>
- CIPAV, Rivera, J., & Sinisterra, J. (2004). *Restauracion ecologica de suelos degradados por erosion en carcavas en el enclave xerofítico de Dagua, Valle del Cauca*. Recuperado el 11 de 2014, de <http://www.cipav.org.co/pdf/noticias/RESTAURACION-CARCAVA-Dagua.pdf>
- Corpoica. (1999). *Prácticas sobre manejo y conservacion de suelos en la zona de ladera del municipio de Dagua. Boletin Divulgativo No. 10*. Palmira: Corpoica.
- FAO. (2009). *Guia para la descripcion de suelos* . Roma.
- Federecafé. (1975). *Manual de conservación de suelos de ladera*. Recuperado el 26 de Abril de 2013, de <http://www.unep.org/geo/GEO3/spanish/fig65.htm>

- Galeano, J., Bulding, M., & Andres, A. (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial- Documento diagnostico, EOT*. Cumbre - Valle del Cauca.
- GLASOD. (1991). *Importancia de la Degradación del Suelo y Estado Actual*. Recuperado el 10 de Febrero de 2013, de <http://edafologia.ugr.es/conta/tema10/recursos/eroshid.gif>
- GRID, A. (2001). *Estado del Medio Ambiente y Medidas Normativas*. Recuperado el 23 de Abril de 2013, de http://www.grida.no/geo/geo3/spanish/pdfs/chapter2-2_land.pdf
- Higueras, P. (S.f). *Mineralogía y geoquímica ambiental*. Recuperado el 13 de Marzo de 2015, de http://www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema00_Intro.htm
- Ibáñez, J. J. (2006). *Los suelos y el agua*. Recuperado el 4 de Marzo de 2013, de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/01/22/12450>
- IGAC. (2004). *levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Valle del Cuaca*.
- Instituto geográfico agustin codazzi . (1988). *Suelos y bosque de colombia*. Bogotá.
- Jaramillo, D. (2002). *Introduccion a la Ciencia del Suelo*. Medellin.
- Jaramillo, D. (2005). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellin: Universidad Nacional de Colombia.
- Jaramillo, R. (2014). *Prototipo simulador de pendientes*. Universidad nacional, Palmira.
- Joergensen, R. (1996). Microbial activity and biomass in mixture treatments of soil and biogenic municipal refuse compost. *Biol. Fertil. Soils*. Göttingen, Alemania: Springer-Verlag.
- Lane, L., & Wigmosta, M. (2006). The role of process- based models and scaling in geomorphic designs DRLS. 409 - 419.
- Langhaar, H. (1951). *Dimensional Analysis and Theory of models*. New York.
- López, M. (2009). *Escorrentía y pérdida de suelo en cárcavas*. Recuperado el 22 de Abril de 2013, de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/16602/1/CIG-Monogr%C3%A1fico-C%C3%A1rcavas%20RMMF-MDD8-G%20II%20DIGITAL-CSIC.pdf>
- Madero, E., Valenzuela, I., Castro, H., Garcia, A., Osorio, N., & et al.,. (2013). *Ciencia del suelo, Principios basicos*. Bogotá.
- Mbagwu, J. (1992). *La mejora de la productividad de un Ultisol degradado con enmiendas orgánicas e inorgánicas* *Biotechnologia* 1992 (Vol. 42).
- Menéndez, D. (2007). *Escorrentía y Pérdida de Suelo en Cárcavas*. Recuperado el 5 de Marzo de 2013, de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/16602/1/CIG->

Monogr%C3%A1fico C%C3%A1rcavas%20RMMF-MDD8-G%20II%20DIGITAL-CSIC.pdf

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). Reserva Forestal del Pacífico. *Radicado 4120-E1-47712*, (pág. 64). Bogotá.
- Montenegro, G., & Malagon , C. (1990). *Propiedades físicas de los suelos, subdirección agrícola IGAC*. Bogotá.
- Montesinos , S. (1999). *Desarrollo metodológico para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en el área mediterránea utilizando técnicas de teledetección y gis*. Recuperado el 23 de Marzo de 2013, de <http://biblioteca.ucm.es/tesis/19911996/X/4/X4003601.pdf>
- Mosquera , B. (2010). *Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos Redacción y recolección de material*. Recuperado el 17 de Abril de 2013, de http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf
- Obi, M., & Ebo, P. (1995). *Los efectos de las enmiendas orgánicas e inorgánicas en las propiedades físicas del suelo y la producción de maíz en un suelo arenoso muy degradado, en el sur de Nigeria. Biotecnología*. (Vol. 51).
- Pernett, x. (2006). *Proceso para cuantificar e interpretar las características físicas y químicas del suelo, que reglan su función en relación con el agua, el almacenamiento de nutrientes y la infiltración*. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=6GdxYibQ1P4C&pg=PT1&lpg=PT1&dq=proceso+para+cuantificar+e+interpretar+las+características+físicas+y+químicas+del+suelo+que+regulan+su+función+en+relación+con+el+agua&source=bl&ots=U853p50Gno&sig=uyVFeMAzi9-BeU2e3ba1x4E>
- Planchon, O., & Cadet, P. (2000). *Relationship between raindrop erosion and runoff erosion under simulated rainfall in the Sudano-Sahel: consequences for the spread of nematodes by runoff*. Obtenido de [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1096-9837\(200007\)25:7%3C729::AID-ESP128%3E3.0.CO;2-C/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1096-9837(200007)25:7%3C729::AID-ESP128%3E3.0.CO;2-C/abstract)
- Porta, J., Lopez, M., & Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi - Prensa.
- Quintanar, L. (s.f.). El teorema pi y la modelación. 29-34.
- Repsol. (s.f.). *Fosfato diamónico*. Obtenido de <http://www.petroban.com.ar/docs/CTFertilizantes/DAP.pdf>
- Rivera , H. (2004). *Causas y Consecuencias de la Erosión de Suelos de Ladera Colombiana*. Recuperado el 19 de Abril de 2013, de http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap11.pdf

- Rivera, & Rivera, J. (1999). *"Procesos físicos de erosión y su dinámica: Prevención y control en suelos de ladera de la zona cafetera de Colombia"*, En: *Conservación de suelos y aguas CIAT*. Palmira.
- Rivera, J. (2002). *Prevención y Restauración de Suelos degradados en zonas de ladera tropicales mediante tratamientos biológicos y de bioingeniería*. Recuperado el 10 de Febrero de 2013, de http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap10.pdf
- Sandoval, D. (2014). *Levantamiento de la zona afectada por erosión en el Barrio el retiro, Corregimiento de Pavas; Escala 1:500*. La Cumbre.
- SEAE. (2008). *Cuaderno de resúmenes VIII Congreso SEAE "Cambio climático, biodiversidad y desarrollo rural sostenible". IV Congreso Iberoamericano Agroecología y II Encuentro*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2014, de http://www.agroecologia.net/recursos/congresos/bullas08/SEAE_LLIBRE_resums_BULLAS.pdf
- Seguel, O. (2013). *Mejoramiento de propiedades físicas del suelo mediante ácido húmico y rastrojo de trigo*. Recuperado el 9 de 11 de 2014, de <http://www.redagricola.com/reportajes/empresas/mejoramiento-de-propiedades-fisicas-del-suelo-mediante-acido-humico-y-rastrojo-d>
- Sinisterra, A., & Rivera, J. (2005). *Restauración Social de Suelos Degradados por Erosión y Remociones*. Recuperado el 19 de Abril de 2013, de http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap7.pdf.
- Tecnicoagricola. (2013). *Abonos orgánicos y enmiendas orgánicas*. Recuperado el Mayo de 2014, de <http://www.tecnicoagricola.es/abonos-organicos-y-enmiendas-organicas/>
- Torres, E. (2000). *Evaluación de la susceptibilidad a la erosión y de las características asociadas (infiltración y escorrentía) de dos suelos de ladera en el departamento del Cauca, mediante un minisimulador de lluvia*. Recuperado el 10 de Febrero de 2013, de http://webpc.ciat.cgiar.org/cabuyal/reports/soil_properties/enrique_torres/enrique_thesis.pdf
- UNEP. (1994). *El proyecto Glasod Soter*. Recuperado el 23 de Abril de 2013, de <http://www.fao.org/docrep/T2351S/T2351S00.htm>
- White, F. (2011). *Mecánica de Fluidos*. En M. G. Hill. New York.

ANEXO 1 Levantamiento De La Zona Afectada Por Erosión En El Barrio El Retiro Corregimiento De Pavas

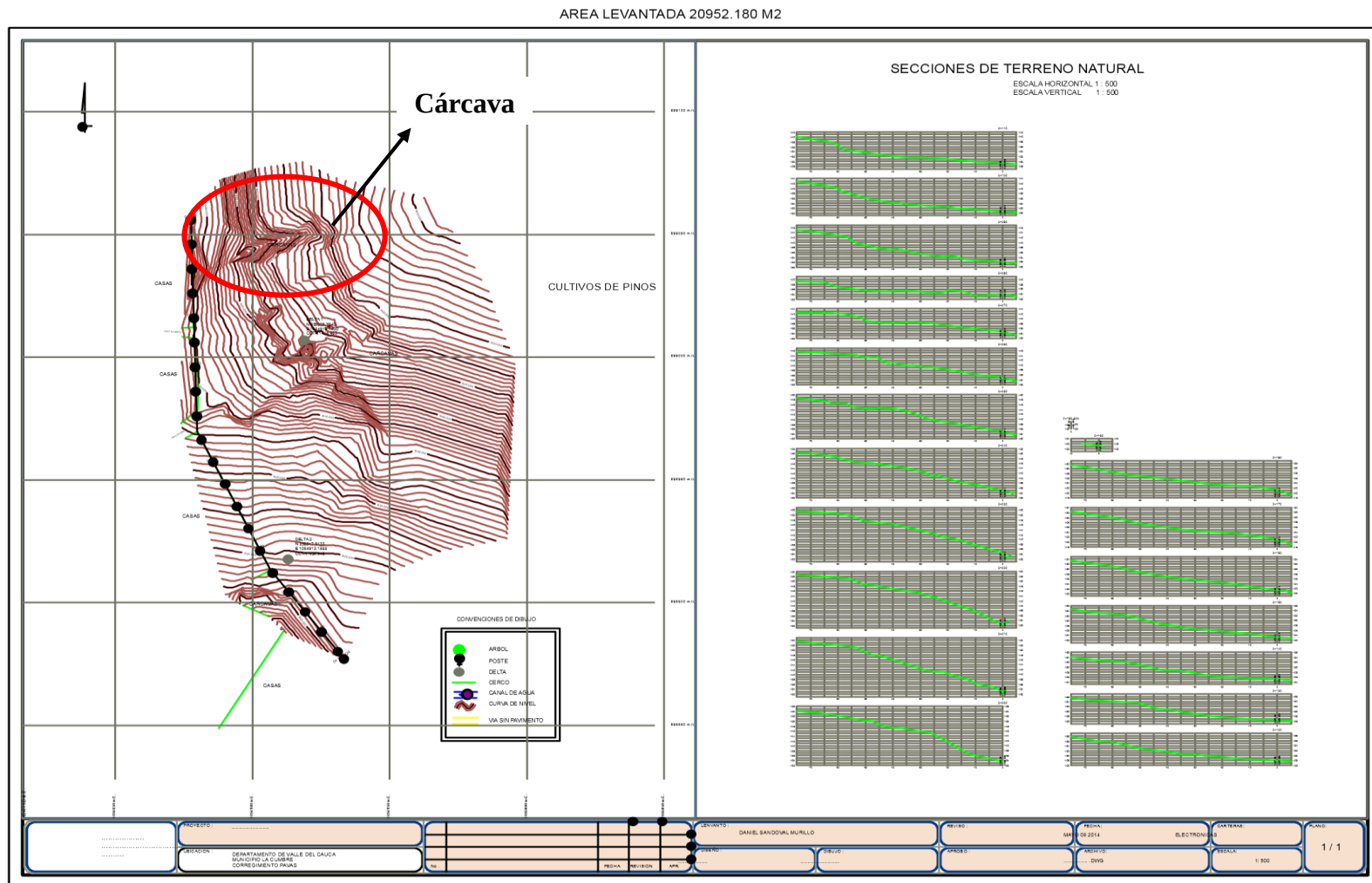


Figura 10. Levantamiento de la zona afectada por erosión en el Barrio el retiro, Corregimiento de Pavas; Escala 1:500 Fuente: (Sandoval, 2014)

ANEXO 2 Fofos Del Proyecto



Figura 11. Prueba de estabilidad de agregados, laboratorio de suelos- Nacional –Palmira; Fuente (Autor, 2015)



Figura 13. Equipo para densidad real; Fuente (Autor, 2015)



Figura 12. Mesa se arena para porosidad y densidad aparente; Fuente (Autor, 2015)



Figura 14. Disposición de las cajas con suelo en el simulador de pendientes; Fuente (Autor, 2015)



Figura 15. Inicio de germinación de la siembra; Fuente (Autor, 2015)



Figura 16. Bloque de suelos pasado 2 meses; Fuente (Autor, 2015)



Figura 17. Bloque de suelo pasado 3 meses y medio; Fuente (Autor, 2015)



Figura 19. Cobertura vegetal germinada en el TL y el TB; Fuente (Autor, 2015)



Figura 18. Cobertura vegetal germinada en el T y el TM; Fuente (Autor, 2015)

ANEXO 3 Procedimiento Estadístico

➤ Estadística Para La Variable Diámetro Ponderado Medio DPM

ANOVA de dos factores: DPM vs. BLOQUE. TRATAMIENTO

Fuente	GL	SC	MC	F	P
BLOQUE	2	0,12109	0,060544	0,23	0,801
TRATAMIENTO	2	0,35876	0,179378	0,69	0,551
Error	4	1,03364	0,258411		
Total	8	1,51349			

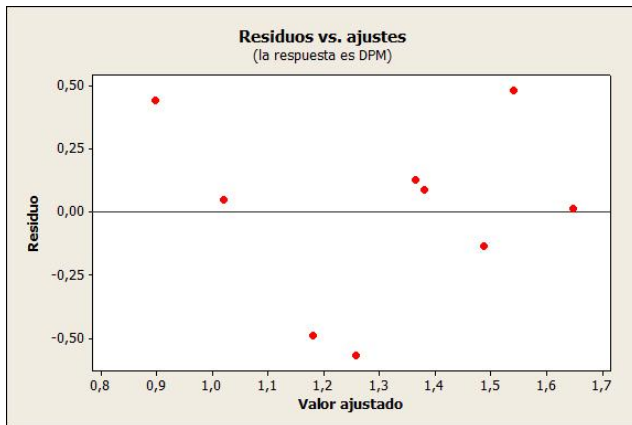


Figura 20. Residuos vs Ajustes para DPM

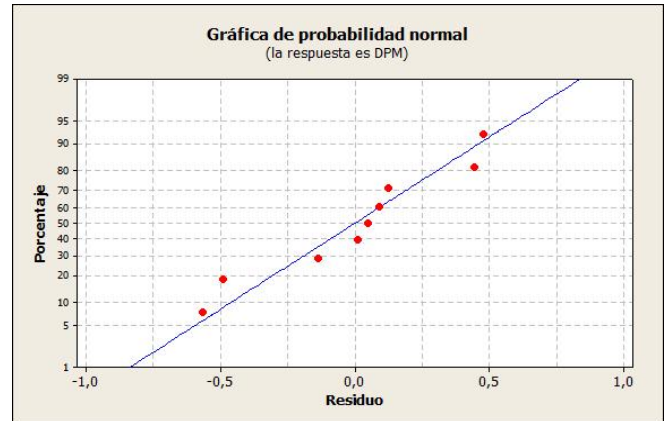


Figura 21. Probabilidad Normal para

Modelo lineal general: DPM vs. TRATAMIENTO

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

Análisis de varianza para DPM, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
TRATAMIENTO	3	1,0869	1,0869	0,3623	1,68	0,248
Error	8	1,7249	1,7249	0,2156		
Total	11	2,8119				

S = 0,464345 R-cuad. = 38,66% R-cuad. (ajustado) = 15,65%

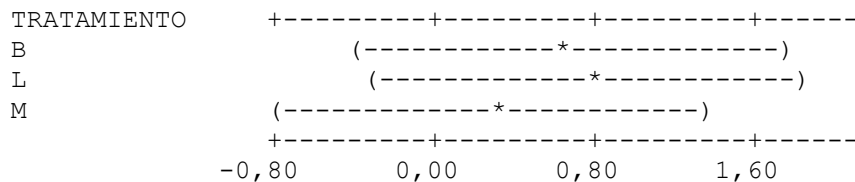
95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

Variable de respuesta DPM

Comparaciones con el nivel de control

TRATAMIENTO = T restado a:

TRATAMIENTO	Inferior	Centrada	Superior
B	-0,4385	0,6533	1,745
L	-0,3318	0,7600	1,852
M	-0,7985	0,2933	1,385



Pruebas simultáneas de Dunnett

Variable de respuesta DPM

Comparaciones con el nivel de control

TRATAMIENTO = T restado a:

TRATAMIENTO	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
B	0,6533	0,3791	1,7232	0,2697
L	0,7600	0,3791	2,0046	0,1817
M	0,2933	0,3791	0,7737	0,7838

Prueba de varianzas iguales: DPM vs. TRATAMIENTO

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándares

TRATAMIENTO	N	Inferior	Desv.Est.	Superior
B	3	0,296654	0,668306	8,44025
L	3	0,068910	0,155242	1,96060
M	3	0,144951	0,326548	4,12407
T	3	0,237014	0,533948	6,74339

Prueba de Bartlett (distribución normal)

Estadística de prueba = 3,12. valor p = 0,373

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)

Estadística de prueba = 0,78. valor p = 0,539

Prueba de varianzas iguales: DPM vs. TRATAMIENTO

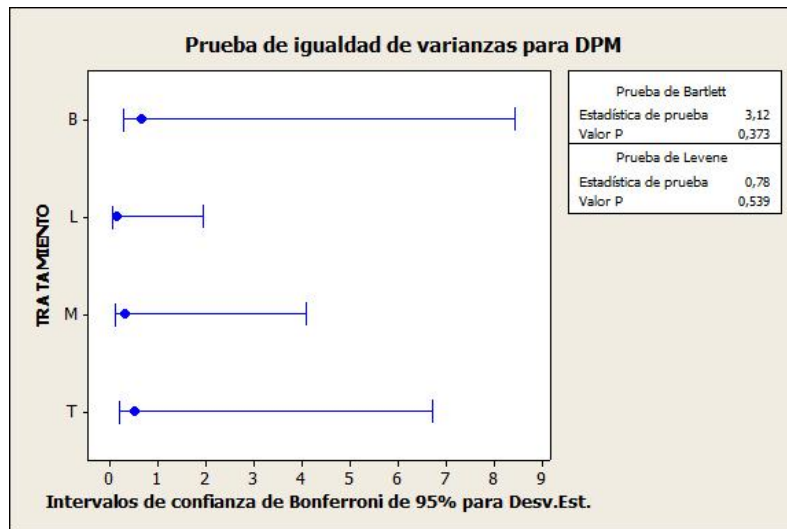


Figura 22. Prueba de igualdad de varianzas para DPM

➤ Estadística Para La Variable Humedad

ANOVA 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%

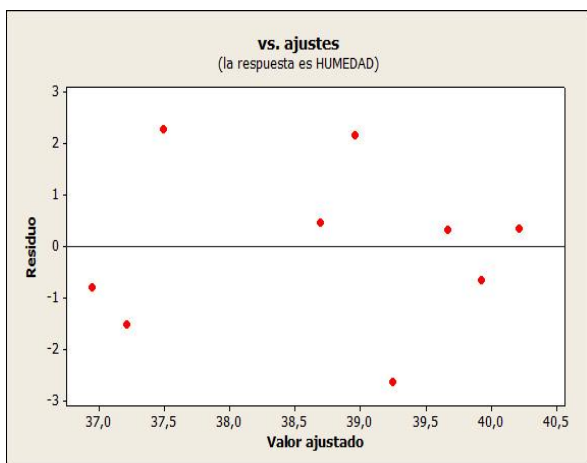


Figura 23. Residuos vs Ajustes para humedad

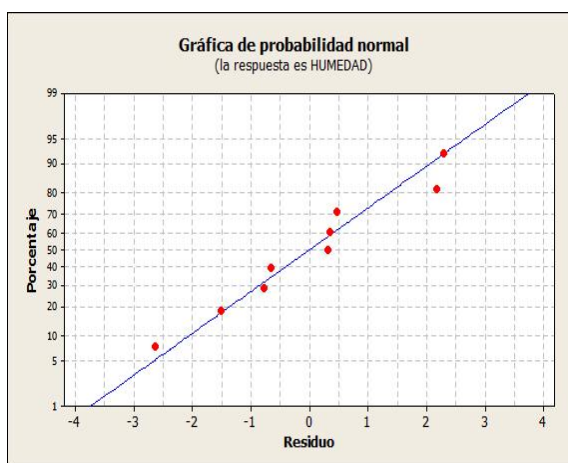


Figura 24. Probabilidad normal para humedad

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

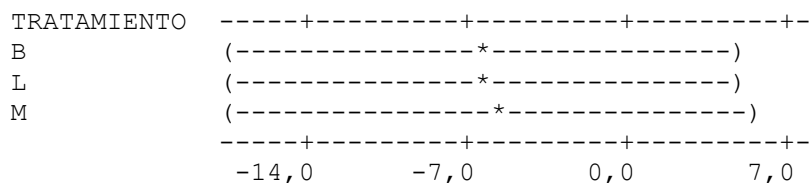
Obs	HUMEDAD	Ajuste	Ajuste SE	Residuo	Residuo estándar
10	53,6472	44,9306	2,7794	8,7167	2,22 R
12	36,1319	44,9306	2,7794	-8,7987	-2,24 R

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



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 Bartlett (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

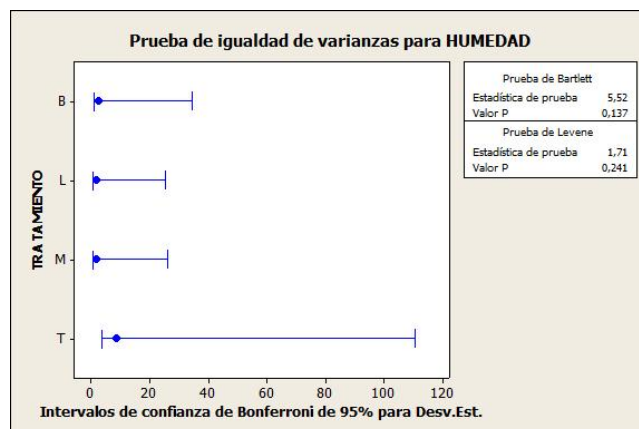


Figura 25. Prueba de igualdad de varianzas para la humedad

➤ **Estadística Para La Variable Densidad Aparente Da**

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%

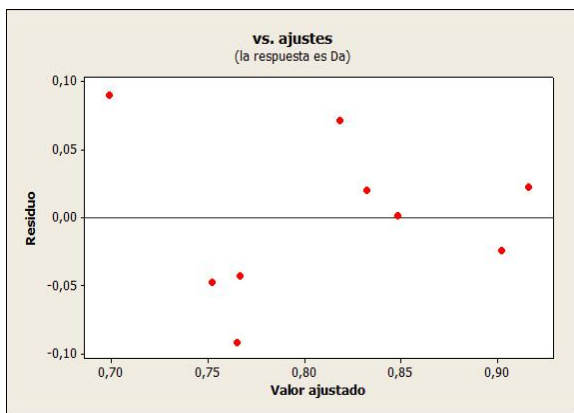


Figura 26. Residuos vs Ajustes para Da

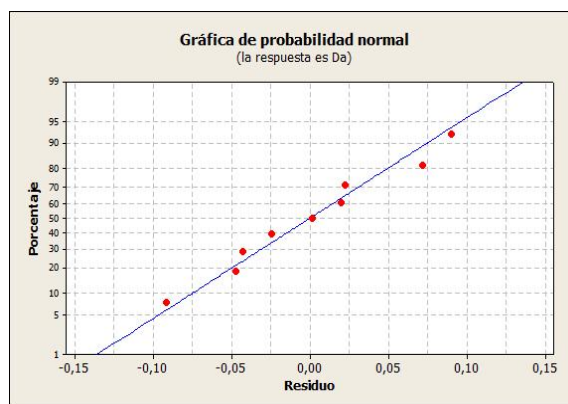


Figura 27. Probabilidad normal para Da

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.

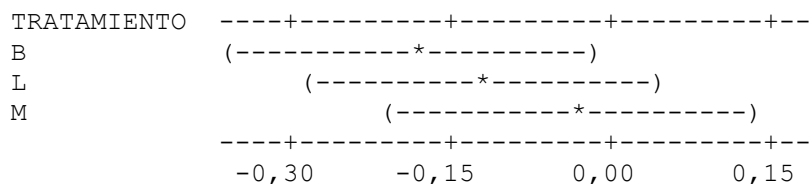
95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

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



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 Bartlett (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

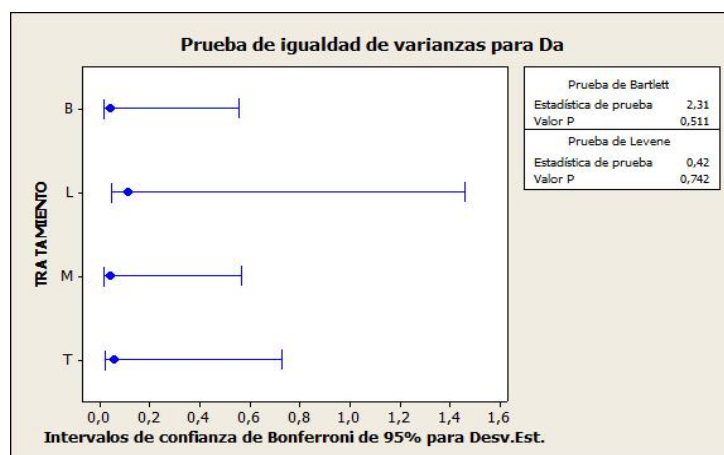


Figura 28. Prueba de igualdad de varianzas para Da

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	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
0,70 0,80 0,90 1,00

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	-----+-----+-----+-----+-----
L	(-----*-----)
M	(-----*-----)
T	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
-0,20 0,00 0,20 0,40

TRATAMIENTO = L restado de:

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

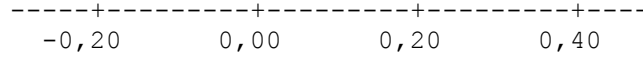
TRATAMIENTO	-----+-----+-----+-----+-----
M	(-----*-----)
T	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
-0,20 0,00 0,20 0,40

TRATAMIENTO = M restado de:

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

TRATAMIENTO	-----+-----+-----+-----+-----
T	(-----*-----)



➤ Estadística Para La Variable Densidad Real Dr

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%

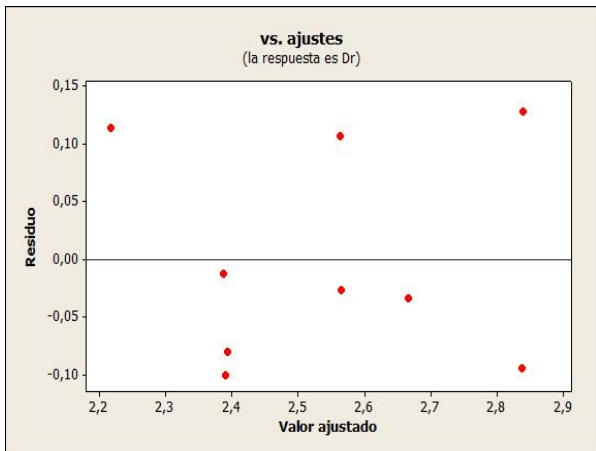


Figura 29. Residuos vs Ajustes para Dr

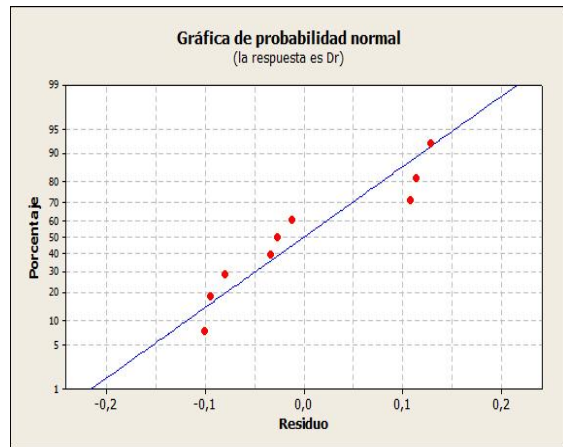


Figura 30. Probabilidad normal para Dr

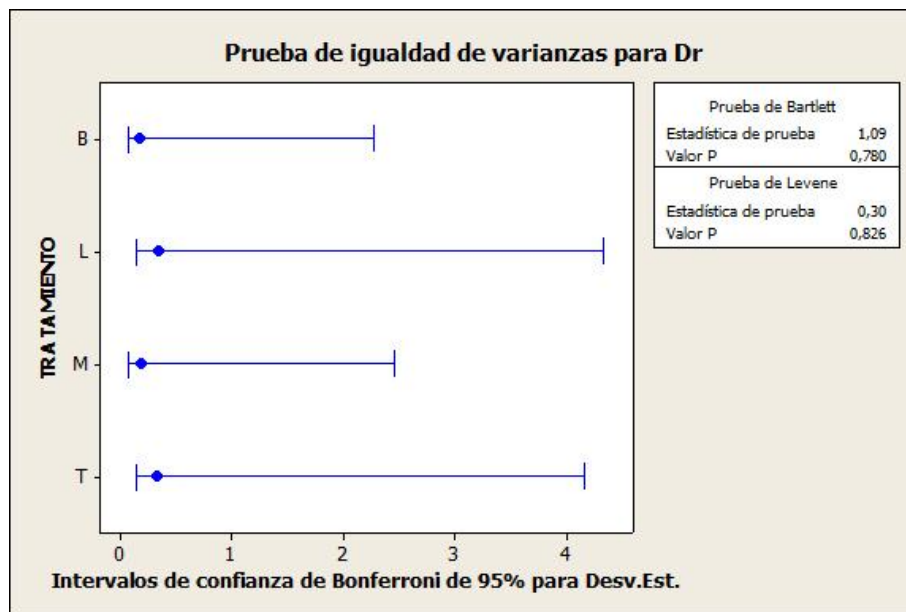


Figura 31. Prueba de igualdad de varianzas para Dr

➤ Estadística Para La Variable Materia Orgánica MO

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%

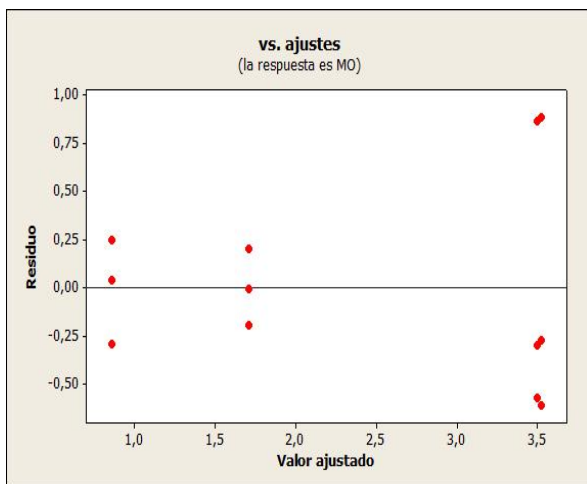


Figura 32. Residuos vs Ajustes para MO

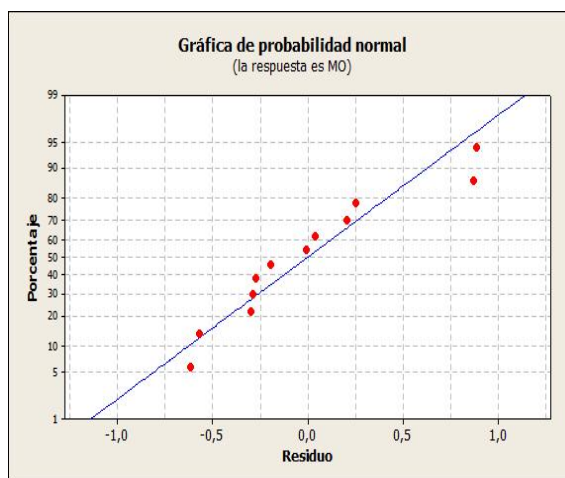


Figura 33. Probabilidad normal para la MO

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%

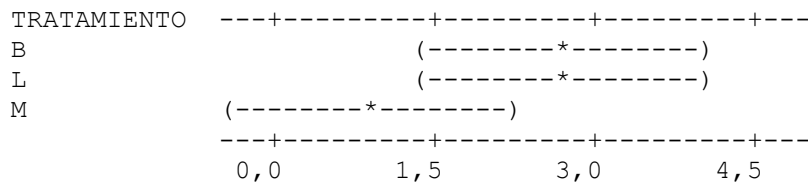
95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

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



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

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	0,349105	0,786469	9,93256
L	3	0,339771	0,765441	9,66699
M	3	0,088815	0,200083	2,52691
T	3	0,120832	0,272213	3,43786

Prueba de Bartlett (distribución normal)

Estadística de prueba = 3,97. valor p = 0,265

Prueba de Levene (cualquier distribución continua)

Estadística de prueba = 0,58. valor p = 0,643

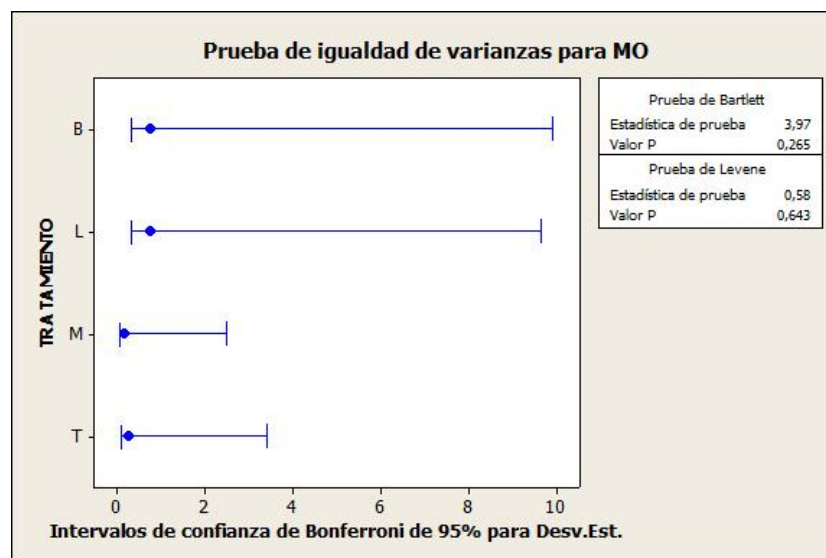


Figura 34. Prueba de igualdad de varianzas para MO

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