

**EFFECTO DE LAS PRACTICAS DE ZANJAS FÉRTILES Y SIEMBRA DE ABONO
VERDE SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS Y PRODUCTIVAS DE DOS SUELOS
DEGRADADOS DEL MUNICIPIO DE PASTO**

**PEDRO ANTONIO GAVIRIA MUÑOZ
EDWIN ANTONIO VILLARREAL MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
PASTO – COLOMBIA**

2003

**EFFECTO DE LAS PRACTICAS DE ZANJAS FÉRTILES Y SIEMBRA DE ABONO
VERDE SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS Y PRODUCTIVAS DE DOS SUELOS
DEGRADADOS DEL MUNICIPIO DE PASTO**

**PEDRO ANTONIO GAVIRIA MUÑOZ
EDWIN ANTONIO VILLARREAL MUÑOZ**

**Trabajo de Grado presentado para optar al título de
INGENIERO AGRÓNOMO**

Presidente de tesis:

HUGO RUIZ ERAZO I.A., M.Sc.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
PASTO – COLOMBIA**

2003

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusivas de sus autores. Artículo 1º del Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño”.

Nota de aceptación:

Asesor

Jurado A

Jurado B

San Juan de Pasto, Mayo 22 del 2003

DEDICO A:

A mis padres

A mis hermanas

A mi Familia

A mis amigos

PEDRO ANTONIO GAVIRIA MUÑOZ

DEDICO A:

A Dios

A mis padres

A mis hermanos

A mi familia

A mis amigos

EDWIN ANTONIO VILLARREAL MUÑOZ

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Benjamín Sañudo Sotelo. Ingeniero Agrónomo. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño.

German Arteaga Meneses. Ingeniero Agrónomo M. Sc. Decano Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño.

Hugo Ruiz Erazo. Ingeniero Agrónomo M. Sc. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño.

Luis Eduardo Vicuña. Ingeniero Agrónomo M. Sc. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño.

Hernan Ojeda. Zootecnista M. Sc. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas . Universidad de Nariño.

Edgar Amézquiata Collazos. Ingeniero Agrónomo Ph. D. Físico de Suelos CIAT.

Laboratorio de física de suelos CIAT.

Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

A todas aquellas personas que contribuyeron de una o de otra forma en la realización del presente trabajo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. MARCO REFERENCIAL	25
1.1 GENERALIDADES	25
1.1.1 Degradación de suelos y erosión	25
1.1.1.1 Concepto de degradación	27
1.1.1.2 Significado del problema	27
1.2 EROSION	29
1.2.1 Concepto	29
1.2.2 Causas	29
1.2.3 Consecuencias	30
1.3 SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO SOSTENIBLE	30
1.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS Y DESARROLLO DE LAS PLANTAS	32
1.4.1 Importancia	32
1.4.2 Relación con el crecimiento de las raíces	34
1.5 MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS	35
1.5.1 La materia orgánica	35
1.5.1.1 Importancia de la materia orgánica	36
1.5.1.2 Importancia del humus	37

1.5.2 Las enmiendas orgánicas	38
1.5.2.1 El estiércol	38
1.5.2.2 El compost	39
1.5.2.3 El mulch	40
1.5.2.4 Los abonos verdes	40
1.5.2.4.1 Concepto	40
1.5.2.4.2 Características deseables y criterios de utilización de un abono verde	42
1.5.2.4.3 Beneficio de los abonos verdes	43
1.5.2.4.4 Principales especies utilizadas como abonos verdes	43
1.5.2.5 Abonos orgánicos	44
1.5.3 Practicas de manejo y recuperación de suelos	45
1.5.3.1 Terrazas	45
1.5.3.2 Zanjias de infiltración	45
1.5.3.3 Cultivos en contorno	46
1.5.3.4 Zanjias fértiles	46
1.5.3.5 Subsoladores biológicos	46
2. MATERIALES Y MÉTODOS	48
2.1 Diseño experimental	49
2.2 Sitios de trabajo	49
2.3 Descripción de los tratamientos	49
2.3.1 Zanjias fértiles- abono verde - avena	49
2.3.2 Zanjias fértiles- avena	53

2.3.3	Abono verde – avena	54
2.3.4	Avena (testigo)	54
2.3.5	Testigo absoluto	55
2.4	Evaluaciones	55
2.4.1	Propiedades físicas	55
2.4.1.1	Densidad aparente (g /cc)	55
2.4.1.2	Densidad real (g/cc)	56
2.4.1.3	Porosidad total (%)	56
2.4.1.4	Distribución de poros	57
2.4.1.5	Penetrabilidad	57
2.4.1.6	Porcentaje de humedad volumétrica del suelo	57
2.4.2	Contenido de materia orgánica	58
2.4.3	Relación carbono nitrógeno	58
2.4.4	Componentes de rendimiento y producción de biomasa de avena	58
2.4.4.1	Población de plantas	58
2.4.4.2	Altura de plantas	59
2.4.4.3	Número de tallos	59
2.4.4.4	Biomasa	59
2.5	Análisis estadístico	59
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
3.1	COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACION MEDIDA EN CAMPO	60

3.1.1	Comparación entre tratamientos	60
3.1.2	Comparación entre profundidades	61
3.1.3	Comparación entre épocas	62
3.1.4	Comparación entre localidades	64
3.2	COMPORTAMIENTO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DETERMINADAS EN EL LABORATORIO	66
3.2.1	Densidad aparente	66
3.2.1.1	Comparación entre tratamientos	66
3.2.1.2	Comparación entre profundidades	68
3.2.1.3	Comparación entre épocas	69
3.2.1.4	Comparación entre localidades	69
3.2.2	Densidad real	70
3.2.2.1	Comparación entre tratamientos	70
3.2.2.2	Comparación entre profundidades	72
3.2.2.3	Comparación entre épocas	72
3.2.2.4	Comparación entre localidades	73
3.2.3	Porosidad total	73
3.2.3.1	Comparación entre tratamientos	73
3.2.3.3	Comparación entre profundidades	75
3.2.3.4	Comparación entre épocas	75
3.2.3.5	Comparación entre localidades	75
3.2.4	Distribución de poros	76

3.2.5 Humedad volumétrica	82
3.2.5.1 Comparación entre tratamientos	82
3.2.5.2 Comparación entre profundidades	83
3.2.5.3 Comparación entre épocas	84
3.2.5.4 Comparación entre localidades	84
3.3 COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA ORGANICA, DETERMINADA EN LABORATORIO	86
3.3.1 Comparación entre tratamientos	86
3.3.2 Comparación entre localidades	87
3.4 RELACION CARBONO-NITROGENO	88
3.4.1 Comparación entre tratamientos	88
3.4.2 Comparación entre localidades	90
3.5 COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE AVENA	90
3.5.1 Población de plantas de avena	90
3.5.1.1 Comparación entre tratamientos	91
3.5.1.2 Comparación entre localidades	92
3.5.2 Número de tallos por planta	92
3.5.2.1 Comparación entre tratamientos	92
3.5.2.2 Comparación entre localidades	93
3.5.3 Longitud y peso aéreo y de raíz	94
3.5.4 Producción de biomasa	97
3.5.4.1 Comparación entre tratamientos	97

3.5.4.2 Comparación entre localidades	98
4. CONCLUSIONES	101
5. RECOMENDACIONES	103
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	113

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Mapa de campo	50
Figura 2. Zanjas rellenas con tamo de trigo	52
Figura 3. Comportamiento de resistencia a la penetración en el perfil del Suelo	63
Figura 4. Comportamiento de resistencia a la penetración entre tratamientos y épocas	65
Figura 5. Comportamiento de la densidad aparente entre tratamientos profundidades, épocas y localidades	71
Figura 6. Comportamiento de la porosidad total entre tratamientos, épocas y localidades	77
Figura 7. Distribución del tamaño de poros con valores para la media general del experimento	80
Figura 8. Distribución del tamaño de poros con valores entre localidades	81
Figura 9. Comportamiento de la humedad volumétrica entre profundidades, tratamientos, épocas y localidades	85
Figura 10. Comportamiento de la materia orgánica entre tratamientos y Localidades	89
Figura 11. Comportamiento de la producción de biomasa de avena forrajera entre tratamientos y localidades	100

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Prueba de Tukey para la resistencia a la penetración en Mpa, con valores medios entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades	114
Anexo B. Prueba de Tukey para densidad aparente en g/cc, con valores medios entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades	115
Anexo C. Prueba de Tukey para la densidad real en g/cc con valores medios entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades	116
Anexo D. Prueba de Tukey para porosidad total en porcentaje con valores medios entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades	117
Anexo E. Prueba de Tukey para distribución de poros en porcentaje con valores medios entre tratamientos y localidades	118
Anexo F. Prueba de Tukey para humedad volumétrica en porcentaje con valores medios entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades	119
Anexo G. Prueba de Tukey para materia orgánica y relación C/N en porcentaje con valores medios entre tratamientos y localidades	120

Anexo H. Prueba de Tukey para población de plantas por m ² y número de tallos por plantas de avena con valores medios entre tratamientos y localidades	121
Anexo I. Prueba de Tukey para longitud y peso tanto aéreo como de raíz en plantas de avena, con valores medios entre tratamientos y localidades	122
Anexo J. Prueba de Tukey para producción de biomasa de avena en ton/ha, con valores medios entre tratamientos	123
Anexo K. Datos promedio de precipitación para los meses entre enero del 2001 a enero del 2002 en el corregimiento de Mapachico	124

GLOSARIO

ARCILLA: partícula mineral del suelo cuyo diámetro es inferior a 0.02 milímetros o a su equivalente a 2 micras. Constituye los llamados minerales secundarios del suelo por ser la partícula mineral de menor tamaño.

COMPACTACIÓN: sellamiento del suelo por pérdida de su estructura o por la presencia de capas endurecidas o impermeables por procesos formativos.

DENSIDAD DEL SUELO: relación entre el peso seco del suelo y su volumen desplazado en agua.

ESTRUCTURA: propiedad física del suelo que indica el grado de agregación y estabilidad de un suelo. Es sinónimo de arquitectura del suelo.

PERFIL DEL SUELO: conjunto de horizontes o capas superpuestas diferenciadas en color y otras características, producto de la evolución del suelo a partir de la roca o material de origen.

SUELO: cuerpo natural tridimensional sobre la superficie terrestre, que contiene materia viva y es capaz de soportar plantas al aire libre, el cual es producto de la acción que ejercen el clima, los organismos y el relieve sobre el material parental

durante su tiempo de formación.

TEXTURA: propiedad física del suelo que indica la proporción porcentual en que se encuentran las partículas de arena, limo y arcilla en el suelo.

HUMUS: materia orgánica en descomposición que se encuentra en el suelo y procede de restos vegetales y animales.

ZANJA: excavación larga y angosta que se hace en la tierra con diversos fines.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó entre los meses de enero de 2001 y enero de 2002, en el corregimiento de Mapachico, ubicado a 7 Km. de la ciudad de Pasto, situado a una altura de 2710 msnm, temperatura 13° C y una precipitación de 500 – 1000 mm/año, teniendo como objetivos determinar el efecto de las prácticas de recuperación denominadas zanjas fértiles y abono verde sobre propiedades físicas de dos suelos degradados; así mismo estudiar la relación de los cambios físicos producidos con relación a la fertilidad orgánica; como también evaluar la producción de biomasa de avena forrajera (*Avena sativa* L.) con las prácticas de recuperación de suelos.

Las variables evaluadas fueron penetrabilidad, densidad aparente, densidad real, porosidad total, distribución de poros, humedad volumétrica, materia orgánica y relación C/N. También se evaluó la población de plantas de avena, número de tallos por planta, longitud y peso aéreo y de raíz, producción de biomasa de avena en ton/ha. Se trabajó con cinco tratamientos distribuidos en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Los tratamientos aplicados fueron los siguientes: T1 zanjas fértiles - avena, T2 zanjas fértiles - abono verde - avena, T3 abono verde - avena, T4 testigo, T5 testigo absoluto. Se llevó a cabo tres muestreos de suelo en tres épocas diferentes a lo largo del ciclo de la investigación.

Los resultados se interpretaron estadísticamente de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de significancia de Tukey.

Los tratamientos T1 (zanjas fértiles – avena) y T2 (zanjas fértiles – abono verde – avena), principalmente manifestaron efectos favorables al incrementar el contenido de materia orgánica en el suelo con porcentajes de 5.78% y 6.59% respectivamente en comparación con el testigo absoluto T5, con un porcentaje de 4.07%, contribuyendo al mejoramiento de las propiedades físicas traducido en la disminución de la resistencia a la penetración de 3.85 Mpa en el testigo absoluto T5 a 2.68 Mpa en el tratamiento T1, disminuyendo la densidad aparente de 1.04 g/cc en el testigo absoluto T5 a 0.99 g/cc en el tratamiento T1, e incrementando la porosidad total del suelo de 59.76% en el testigo absoluto T5 a 61.42% en el tratamiento T1. El mejoramiento se vio reflejado en un mayor rendimiento y producción de biomasa de avena forrajera de 40.15 ton/ha en comparación con el testigo T4 con una producción de 23.25 ton/ha.

ABSTRACT

The present work was carried out among January 2001 and January 2002 months, in the jurisdiction of Mapachico, located to 7 Km. from Pasto city, and situated to a height of 2710 m.a.s.l., a temperature of 13° C and with a precipitation of 500 - 1000 mm/year. Our goals were to determine the effect of recovery practices named fertile strip of denominated and green manure on physical properties of two low fertility soils; as well as to study the physical changes relation produccol in agreement to organic fertility; besides, to evaluate the biomass production of forange oat (*avena sativa L.*) with the recovery practices of soils.

The variables tested were penetrability, apparent density, real density, total porosity, distribution of pores, volume humidity, organic matter, C/N relationship, population of oat plants, stem number per plant, longitude and air weight of root, biomass production in ton/ha; It was worked with five treatments distributed in a block desing at random with three replications. The treatments applied were the following: T1, fertile strips – oat; T2, fertile strips – green manure – oat; T3, green manure – oat; T4, witness; T5, absolute witness. It was executed three soil samplings in three different times throughout the research cycle.

Results were interpreted statistically of agreement to the analysis variance and the Tukey's significance test.

The treatments T1 (fertile strips - oat) and T2 (fertile strips – green manure - oat), showed mainly some favorable effects by increasing the organic matter content in the soil with percentages of 5.78% and 6.59% respectively in comparison with the absolute witness, with a percentage of 4.07%, contributing to the physical properties improvement translated in the resistance decrease to penetration of 3.85 Mpa in the absolute witness T5 to 2.68 Mpa in the treatment T1, by decreasing the apparent density of 1.04 g/cc in the absolute witness T5 to 0.99 g/cc in the treatment T1, and by increasing the total porosity of soil from 59.76% in the absolute witness T5 to 61.42% in the treatment T1; this improvement was reflected in a higher yield of biomass production of oat from 40.15 ton/ha in comparison with the witness T4 which had a production of 23.25 ton/ha.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los procesos de degradación física de los suelos, hay dos que están disminuyendo drásticamente la capacidad productiva de las tierras del país : la erosión en las áreas de ladera y la pérdida de estructura acompañada de compactación superficial en las áreas de agricultura intensiva, (Amézquita, 2001, 23).

La erosión predomina fundamentalmente en la región andina, aproximadamente en un 80%, lo cual es preocupante por que en esta zona geográfica se asienta alrededor del 70% de la población del país y es donde se realiza buena parte de la actividad económica y de desarrollo de la nación. Los procesos de pérdida de estructura, compactación y encostramiento superficial, están íntimamente asociados con el uso indiscriminado y excesivo de implementos de labranza, (Amézquita 2001, 24).

Las medidas para vencer el deterioro están encaminadas a devolver la fertilidad orgánica y a mejorar las condiciones físicas, lo cual puede lograrse con el empleo de abonos verdes y con labores que conduzcan a la agregación y conexión de los horizontes superiores.

Dentro de las practicas agronómicas que se realizan en las zonas con degradación de suelos es necesario acondicionar las bases que permitan el mejoramiento de la bioestructura del suelo, (Sañudo, Checa y Arteaga, 2001, 25).

El presente estudio se realizó pretendiendo dar consecución a una tecnología con el fin de cumplir los siguientes objetivos:

- ✓ Determinar el efecto de las practicas de recuperación denominadas zanjas fértiles y abono verde sobre las propiedades físicas de dos suelos degradados.

- ✓ Estudiar la relación de los cambios físicos producidos con relación a la fertilidad orgánica.

- ✓ Evaluar la producción de biomasa de avena forrajera con las practicas de recuperación de suelos.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 Degradación de suelos y erosión. A medida que aumenta la población, el mundo actual se ve cada día más enfrentado a una crisis alimenticia debido principalmente al uso irracional de los recursos naturales, dentro de los cuales, según el IGAC (1990, 423) el suelo constituye uno de los más preciosos. Por ello es necesario, conocer tanto el suelo como las posibles causas y/o soluciones que permitan frenar y/o evitar la progresiva disminución de su capa productiva en extensas áreas del mundo, de tal forma que mediante su uso racional y productivo se le pueda sacar el mejor provecho sin perjudicar a futuras generaciones.

La problemática de la degradación en la faja tropical del mundo se hace cada día más grave y aún es más intensa en las zonas secas de la citada faja. En 1993 se estimaba en el mundo 6.100 millones de hectáreas de tierra áridas, es decir cerca del 42% del territorio mundial, la mayor parte concentrada en África y Asia; en Colombia las zonas desérticas identificadas representan el 15% del territorio, muy bajo si se compara con otros países (Saavedra et al, 1995, 185).

Según Durán (1998, 19), entre los flagelos degradantes pueden ser señalados, sin que signifiquen un orden de importancia los siguientes: erosión artificial, drenaje deficiente, salinización, compactación, formación de corazas silíceas.

La conservación de los diferentes subsistemas ecológicos exige de un buen manejo del suelo con menores inversiones, por lo que se recomienda establecer sistemas de explotación sostenibles o lo que es lo mismo que sean económicos, socialmente útil y ecológicamente estables (López, 1997, 107).

Las pérdidas físicas del suelo y de materia orgánica por erosión, la mecanización excesiva, el monocultivo, la quema de residuos de cosecha, los inadecuados sistemas de riego y drenaje, la alcalinización y la compactación en áreas de cultivo, son los problemas que actualmente influyen más en la disminución de la productividad de los suelos (Castro, 1995, 96).

Se ha comprobado que labores de preparación del suelo deterioran las condiciones físicas del suelo, como la estructura, aireación, permeabilidad, resistencia a la penetración, retención de humedad, además de originar compactación y el pie de arado en algunos casos (García, 1994, 75).

En los suelos que son cultivados permanentemente, sus agregados quedan expuestos a la fragmentación por rápido humedecimiento, impacto de la lluvia o impacto directo de los implementos de labranza. Durante este proceso se

presenta pérdida de materia orgánica, lo cual ocasiona una disminución del porcentaje de agregados estables al agua (Tisdall y Oades, 1982, 142).

1.1.1.1 Concepto de degradación. La degradación del suelo puede definirse como la pérdida o reducción de su utilidad potencial y/o la pérdida o cambio de componentes u organismos que no pueden ser reemplazados (Barrow, 1994, 109).

Blaikie y Brookfield (1987, 251), sostienen que el suelo se degrada cuando “sufre una pérdida de sus cualidades intrínsecas o una disminución de sus capacidades” como resultado de varias fuerzas, entre las cuales se encuentran las fuerzas humanas y naturales.

Chisholm y Dumsday, (1987), indican que la degradación del suelo es algo que puede resultar de un factor causal o de la combinación de varios factores, que reducen el estado físico, químico o biológico del suelo y que pueden restringir su capacidad productiva.

1.1.1.2 Significado del problema. Para establecer el significado de la degradación del suelo se requiere establecer cuan amplia es, que tan graves son los daños y si es o no un proceso reversible. Aunque su medición es difícil, sí se puede asegurar que la degradación del suelo es un problema presente en todos los países: ricos o pobres, áridos o húmedos, fríos o tropicales, y no solo donde hay

altas poblaciones sino también en algunos sitios como Australia o Amazonía donde la población es escasa y de asentamiento sedentario (Barrow, 1994, 112).

El suelo esta perdiendo su uso productivo en forma alarmante. En los últimos 7000 años, desde que el hombre empezó a depender de la agricultura sedentaria se estima que mas de 430 millones de hectáreas cultivables han sido gravemente degradadas, sin considerar que allí hayan ocurrido o continúen ocurriendo extinciones de flora o fauna a una tasa inquietante, (WCED, 1987, citado por Salamanca, 2000, 21).

Hoy en día existen riesgos de que así como algunas partes del globo son mas vulnerables a cambios ambientales que otras, el continuo crecimiento de la población concomitante con el aumento de la demanda de tierras incrementen también las perdidas de suelo por degradación. Para el año 2010 se espera que la población mundial se haya elevado a 10.5 billones de habitantes de los cuales 9.1 billones vivirán en los países en desarrollo con suelo mas pobre y probablemente mas degradado (Wolman y Fournier, 1987, citado por Salamanca, 2000, 21).

Los productores, la agroempresas y las instituciones de investigación han reaccionado frente a estos problemas. Para tal efecto, están buscando nuevos y mejores sistemas de producción agrícola y ganadera de fácil adopción, que incluyen por ejemplo las labranzas cero y mínima (previo mejoramiento del suelo)

y la integración de cultivos y pasturas en sistemas de producción agropastoriles (Guimaraes, *et al.*, 1999, 280).

Es necesario entonces aprender a controlar o a manejar la degradación del suelo para garantizar ganancias productivas a largo plazo y asegurar la disponibilidad de alimentos para esta gran generación que nos acecha. Al respecto, hay solo una cosa clara: los esfuerzos encaminados hacia tal logro en muchas regiones deben ser hechos ahora o muy pronto, antes de que se pierda tal oportunidad (WCED, 1987, citado por Salamanca, 2000, 21).

1.2 EROSION

1.2.1 Concepto. La erosión como proceso natural, ocurre en todos los terrenos; se la puede definir como el proceso de desprendimiento y arrastre de la capa superficial de los terrenos por la acción de agentes llamados erosivos. De ellos los más activos son el agua y el viento (Suarez y Rodríguez, 1962, 186).

1.2.2 Causas. La erosión es un proceso que tiene lugar de forma espontánea en la naturaleza, si bien su intensidad varía de unos escenarios a otros, la intervención del hombre hace que la intensidad del proceso pueda verse fuertemente incrementada. La roturación y puesta en cultivo supone una alteración del equilibrio dinámico del sistema. Un suelo con una cobertura vegetal

con poca intervención humana queda protegido de la acción directa de la lluvia y el viento (Porta, López y Roquero, 1994, 512).

1.2.3 Consecuencias. Partiendo de una situación en un momento dado, la erosión hace disminuir la capacidad para producir biomasa vegetal, con lo que la protección del suelo disminuye y la importancia de la erosión aumentará de año en año. A largo plazo provoca una disminución de los rendimientos y finalmente el terreno se hace improductivo. Sus efectos son muy notorios en un lapso relativamente corto (Porta, López y Roquero, 1994, 512).

Los cambios en las propiedades del suelo, provocados por la erosión, producen alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva. Estos cambios según Stocking (1984, 78), pueden ser debidos a uno o más factores. El factor o factores que provocan los cambios y así limitan la productividad del suelo son denominados factores limitantes del suelo.

1.3 SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Timberlake (1988, 61), considera que el desarrollo sostenible es un concepto vago pero tan poderoso como otros conceptos vagos como libertad, igualdad, y justicia. Algunos autores se han atrevido a dar algunos conceptos sobre desarrollo sostenible o sostenibilidad.

Camino (1993, 65), menciona que la sostenibilidad de la agricultura y de los recursos naturales se refiere al uso de los recursos biofísicos, económicos y sociales según su capacidad, en un espacio geográfico, para mediante tecnologías biofísicas, económicas, sociales e institucionales obtener bienes y servicios directos e indirectos de la agricultura y de los recursos naturales para satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras. El valor presente de los bienes y servicios debe representar mas que el valor de las externalidades e insumos incorporados, mejorando o al menos manteniendo en forma indefinida la productividad futura del ambiente biofísico y social.

Díaz (1997, 21), afirma que la sostenibilidad contempla estrategias para el mantenimiento de un nivel de productividad a lo largo del tiempo, bajo condiciones conocidas o previstas. La sostenibilidad tiene variadas formas que son propias de cada ambiente.

Así mismo, Lal (1994, 21), arguye que la sostenibilidad depende del mantenimiento de las características físicas, químicas y biológicas del suelo como recurso básico. El desarrollo y la evaluación de sistemas alternativos de producción implica por tanto, que el estudio de productividad debe hacerse a largo plazo. Esto requiere la cuantificación del impacto del sistema y de las practicas de manejo del suelo en las propiedades y procesos importantes de la productividad agronómica y la calidad del ambiente .

Por tanto, los sistemas de producción agrícola en la zona tropical deben ser adaptados a las condiciones edafoclimáticas de aquellos ecosistemas donde los suelos tienen menores reservas de nutrientes y donde eventos como la temperatura y la precipitación externos pueden acelerar los procesos de degradación de aquellos a una escala mayor de la que usualmente sucede en la zona templada, con el fin de alcanzar los niveles de producción que demanda el crecimiento de población sin causar a largo plazo problemas de degradación de este recurso básico del cual depende la producción (Amézquita, *et al.*, 1999, 54).

La sostenibilidad de un sistema debe ser evaluada dentro del concepto de un tipo de tierra y ecosistema específicos, en un periodo de tiempo definido y dentro de las limitaciones físicas, económicas y sociales de la región, ya que un sistema que es sostenible bajo determinadas condiciones socioeconómicas y edafoclimáticas, no necesariamente lo es cuando las condiciones son diferentes (Dumansky, 1993, citado por Salamanca, 2000, 24).

1.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS Y DESARROLLO DE LAS PLANTAS

1.4.1 Importancia. Las propiedades físicas del suelo son de gran importancia ya que tienen infinidad de prospecciones en relación a su uso y manejo. Explicaciones de respuesta a fertilización, diseño, riego y drenaje, construcciones

prácticas de manejo de suelos, control de erosión, conservación de suelos, manejo de cuencas hidrográficas, etc., están regidas por ellas (IGAC, 1990, 624)

Solo un entendimiento completo de las condiciones físicas del suelo permite que el desarrollo de sistemas estables y viables de manejo de suelos para las regiones tropicales con ambientes climáticos rígidos sea exitoso (Greenland y Lal, 1979, 281).

Según Wild (1992, 976), el suelo influye en la planta a través de su sistema radical, cuyo crecimiento está determinado por los siguientes factores edáficos: contenido de humedad, temperatura, sistema de poros, resistencia al esfuerzo y a la compresibilidad, suministro de oxígeno, nivel de toxinas, patógenos y disponibilidad de nutrientes.

Los factores mencionados, los cuales actúan en forma interrelacionada unos con otros, determinan que el suelo sea un medio apto o no para la germinación y desarrollo de las plantas de manera que por ejemplo, al compactar un suelo se puede no solo, reducir el tamaño medio de los poros sino también cambiar la aireación y el estado hídrico del suelo. Sin embargo, un efecto perjudicial de un factor desfavorable puede frecuentemente reducirse por la mejora de alguno de los otros (Wild, 1992, 982).

El suelo no solo debe suministrar los nutrientes necesarios para los procesos metabólicos, si no que también debe proveer el régimen favorable de agua y aire para el correcto funcionamiento de las plantas. En muchos casos la toma de nutrientes pueden estar limitadas por condiciones adversas como, falta o exceso de agua, deficiencia de oxígeno o insuficiente proliferación de raíces debida a la alta densidad global del suelo en esas condiciones, que limitan su crecimiento (Baver *et al* , 1973, 320).

1.4.2 Relación con el crecimiento de las raíces. La capacidad de una raíz para abrirse camino en el suelo, así como el estado físico del suelo son factores que estimulan o limitan el crecimiento de las plantas y que afectan positivamente o negativamente la productividad de los cultivos (Wild, 1992).

Wild (1992, 991), anota que la densidad de raíces en el perfil disminuye con la profundidad, pero que hay una considerable variación en la distribución de las raíces en las diferentes etapas del crecimiento de un cultivo. Así, cuando el suelo esta en buenas condiciones, los sistemas radicales son largos, profundos y expandidos.

Las raíces son capaces de alcanzar profundidades de 180 cm en menos de un mes o expandirse lateralmente mas de 100 cm. Las raíces dominantes de la mayoría de las plantas son capaces de elongarse rápidamente por muchos días y

desarrollar ramificaciones que suplen a la planta de la cantidad de nutrientes y humedad que ella necesita (Greenland y Lal, 1979, 295).

1.5 MANEJO Y CONSERVACION DE SUELOS

1.5.1 La materia orgánica. La materia orgánica del suelo es un complejo sistema de sustancias, en un estado dinámico permanente, que se produce por la admisión de restos orgánicos en el mismo, principalmente de origen vegetal y en menor cantidad de origen animal y su permanente transformación bajo la acción de factores biológicos, químicos y físicos (Burbano, 1989, 265).

Los componentes de la materia orgánica del suelo pueden clasificarse en dos grupos generales de sustancias: no húmicas y húmicas. En el grupo de las sustancias no húmicas se incluyen los residuos inalterados de tejidos vegetales y animales. Tales sustancias tienen una constitución química perteneciente a grupos orgánicos conocidos como carbohidratos, proteínas, grasas, ceras, resinas, etc. En la categoría de las sustancias húmicas se incluyen aquellas sustancias modificadas química y biológicamente que conservan muy poca o ninguna semejanza con los compuestos orgánicos conocidos (Burbano, 1974, 48).

1.5.1.1 Importancia de la materia orgánica. La importancia de la materia orgánica se ha reconocido por el hombre desde hace varios milenios, de ahí que la preocupación por su mantenimiento y conservación ha sido una constante, dentro de las labores agrícolas de muchas civilizaciones. Sin embargo dada su complejidad, hasta el presente no se conoce en forma cabal las características y propiedades de este conjunto de productos que genéricamente, se conocen como materia orgánica (Burbano, 1989, 287).

La materia orgánica en razón de su naturaleza tiene múltiples efectos sobre el suelo, como que actúa sobre las características físicas, químicas y biológicas del mismo. Por eso es que pretender reducir la importancia de la materia orgánica a la adición de nutrientes, cuando menos resulta desacertado. En el mismo sentido se tiene que visualizar la adición de materiales orgánicos al suelo, ya que estos progresivamente se van incorporando a las diversas fracciones de la materia orgánica (Burbano, 1989, 292).

La materia orgánica facilita el desarrollo de raíces, influyendo en la entrada de sustancias nutritivas en el organismo vegetal, en su respiración, metabolismo y en definitiva en una numerosa serie de fenómenos relacionados con incremento de las cosechas (Kononova, 1982, 153).

La acción de la materia orgánica o del humus puede ser directa o indirecta. Se considera, por tanto, que el humus puede actuar directamente sobre la producción

de los cultivos; aporta a las plantas a través de la descomposición biológica, nitrógeno, azufre y fósforo en formas asequibles. Indirectamente, en la medida en que mejoran las propiedades físicas del suelo como la agregación, aireación, permeabilidad y capacidad de retención de humedad (Donahue, Miller y Shickluna, 1981, 94).

La aireación y la humedad del suelo son dos factores que con frecuencia están asociados y afectan los procesos de descomposición de la materia orgánica. En condiciones anaerobias, el proceso de descomposición de la materia orgánica es menos eficiente que en condiciones de alta aireación. Por otra parte los productos finales de la descomposición son diferentes. Mientras que en condiciones aeróbicas el carbono que no es incorporado a las células de los microorganismos se libera como CO_2 , en condiciones anaerobias ese carbono se libera como metano (CH_4) o como ácidos orgánicos (Andreux, 1974 , 211).

No se conoce claramente ni el origen ni la naturaleza química de la materia húmica. Se forma de los restos de vegetales y animales muertos presentes en el suelo en condiciones de humedad y por la colaboración de los microorganismos, hongos filamentosos, gusanos, hormigas y colémbolos con procesos químicos (Borrero, 1987, 42).

1.5.1.2 Importancia del humus. Las sustancias húmicas, principales componentes del humus del suelo y de la materia orgánica, se utilizan en muchos

países del mundo incluyendo a Colombia, para mejorar los suelos y el rendimiento de las cosechas. Varias investigaciones ponen de manifiesto que los humatos solubles, ciertas vitaminas, algunos ácidos del ciclo de Krebs y los polifenoles, todos ellos componentes del humus del suelo y de abonos orgánicos, tienen la capacidad de estimular el crecimiento de las plantas (Morales y García, 1995, 28).

1.5.2 Las enmiendas orgánicas. Las enmiendas orgánicas son el conjunto de materiales orgánicos que se incorporan al suelo con diversos propósitos: para mejorar sus cualidades físicas de estructura, aireación, absorción y retención de agua y para aportar algunos elementos que mejoren la nutrición de la planta y que ayuden a aminorar el efecto dañino de las enfermedades y plagas. Así, las enmiendas abarcan materiales tan diversos como los excrementos de origen animal, el bagazo y/o subproductos vegetales e incluso los desperdicios urbanos, industriales y de crustáceos (Burbano, 1989, 312).

1.5.2.1 El estiércol. El estiércol es uno de los residuos agrícolas más importantes. Por su uso, parte de la porción no utilizable de los cultivos puede entrar en el suelo para ejercer allí una acción mucho más importante de lo que pudiera creerse por su contenido de nutrimentos. El mundo ha entrado ya en una era en la cual la prevención del desgaste agrícola es cada vez más necesaria. Por esto, el uso del suelo pide un manejo más cuidadoso, así como la utilización del estiércol que se produce, ya que hoy en día con mayores recursos tecnológicos la

utilización del estiércol es una practica que se puede optimizar (Burbano, 1989, 315).

El estiércol animal puede contribuir en forma significativa a suplir las necesidades de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrimentos. La disponibilidad total, sin embargo, dependerá del tamaño y tipo de explotación animal y los métodos utilizados para guardar y esparcir el estiércol (Burbano, 1989, 315).

1.5.2.2 El compost. El proceso de compostaje se puede definir como una descomposición aeróbica y termofílica de los residuos orgánicos por las poblaciones microbianas quimiorganotróficas que existen en los propios residuos, bajo condiciones controladas, y que produce un material parcialmente estabilizado de lenta descomposición, cuando hay condiciones favorables (Burbano, 1989, 318).

Son muchos los materiales que sirven para preparar este tipo de abono: toda clase de plantas fresca y secas, terrestres y acuáticas; paja, aserrín, entre otros. En cambio los plásticos vidrios y otros materiales de lenta descomposición no sirven para tal propósito. Mientras mas variada sea la mezcla de materiales que se ocupen para hacer el abono, mas rico resultará en nutrimentos (Burbano, 1989, 319).

1.5.2.3 El mulch. Esta práctica consiste en esparcir sobre el suelo los residuos vegetales que resultan de las desyerbas, podas, zoqueos y desperdicios de cosecha con el propósito de formar una cubierta protectora contra la erosión. Es evidente que en este caso se hace énfasis en el efecto protector del mulch para defender al suelo de este fenómeno, por cuanto los residuos vegetales colocados sobre el suelo absorben la fuerza de las gotas de agua y eliminan el efecto de salpicadura. Se recomienda, además, que los productos de las desyerbas se deben esparcir uniformemente sobre el suelo, con excepción de los provenientes de gramíneas y malezas, que se deben sacar del lote y quemar para evitar su nuevo establecimiento e invasión (Burbano, 1989, 321).

Los efectos físicos que se derivan de la utilización del mulch guardan relación con la conservación de la humedad del suelo, el control de la escorrentía y de las pérdidas causada por erosión, la reducción de las malezas y la competencia con estas, el control de la temperatura del suelo, y el mejoramiento de su estructura (Burbano, 1989, 321).

1.5.2.4 Los abonos verdes

1.5.2.4.1 Concepto. Se entiende por abono verde “el cultivo de vegetación rápida, que se corta y se entierra en el mismo lugar donde ha sido sembrado y que está destinado especialmente a mejorar las propiedades físicas del suelo, a enriquecerlo con un humus joven de evolución rápida, además de otros nutrientes

minerales y sustancias fisiológicamente activas, así como a activar la población microbiana del suelo” (Labrador, 1996, citado por Gómez, 2000, 91).

De otra parte, Calegari *et al* (1993), citado por Gómez (2000, 91), refieren los abonos verdes en el concepto clásico de que “consiste en una práctica de incorporar al suelo la masa vegetal sin descomponer, de plantas cultivadas, locales e importadas, con la finalidad de preservar y/o restaurar la productividad de tierras cultivadas.

Los cultivos que se utilizan como abonos verdes son aquellos que se incorporan en el suelo a fin de mejorarlo. Generalmente, esos cultivos se mezclan con el suelo cuando aún están verdes y por eso su denominación. En forma ocasional estos cultivos se dejan madurar antes de incorporarlos. Cuando los abonos verdes se utilizan adecuadamente, pueden incrementar la materia orgánica o las reservas de nitrógeno utilizable del suelo, pero rara vez suelen tener ambos efectos al mismo tiempo (Burbano, 1989, 332).

Los residuos de las cosechas representan el grupo de partes del vegetal no consumibles por el hombre, como hojas, tallos, raíces y otros órganos aéreos o subterráneos. Tales residuos no deben considerarse desdeñables, puesto que representan una aportación al año de 500 a 800 Kg./Ha. de humus (Acosta, 1986, 116).

1.5.2.4.2 Características deseables y criterios de utilización de un abono verde. Un abono verde ideal posee tres características importantes: un crecimiento rápido, follaje abundante y succulento, habilidad de crecer bien en suelos pobres.

A mas rápido crecimiento, mayor es la posibilidad de aptitud para ser introducido en una rotación y uso económico como medios de mejoramiento del suelo. Follaje abundante y raíces poderosas son, desde luego, algo necesario, teniendo en cuenta que a mayor contenido de humedad en el abono verde, mas rápida es la descomposición y mas pronto se obtienen los beneficios (PROTERRA, 2002, 2).

Como criterios para la utilización de estos abonos están los siguientes. Sea cual fuera la planta utilizada, los mejores resultados se obtienen cuando se entierran en la etapa media de madurez, o sea, antes de la floración o poco después de esta etapa. La razón es que a esa edad las plantas se mantienen turgentes y jugosa y se descomponen mas fácil que si son cortadas en una etapa posterior de su ciclo de vida. Solo se justifica su utilización en terrenos muy pobres; su uso debe encajar dentro de la rotación de las cosechas, de manera que crezcan en el periodo entre la recolección de una cosecha y la siembra de otra, en que normalmente no se utiliza el terreno; no debe sembrarse otro cultivo hasta dos o tres semanas después de haber enterrado el abono verde, para evitar deficiencias de nitrógeno, especialmente cuando el cultivo no es una leguminosa; es preferible sembrar después del abono verde un cultivo limpio como maíz, papa o algodón y

no cereales de grano pequeño (Burbano, 1989, 338).

1.5.2.4.3 Beneficio de los abonos verdes. El abono verde puede tener diversos efectos sobre el suelo. Puede incrementar la cantidad de materia orgánica o de nitrógeno asimilable del suelo; disminuir las pérdidas de nitrógeno mineral por lavado; concentrar elementos nutritivos probablemente deficientes en la superficie del suelo. Estos abonos también mejoran las condiciones físicas del suelo, porque incrementan la actividad microbiana y ayudan a solubilizar varios nutrimentos minerales del suelo (Burbano, 1989, 342).

1.5.2.4.4 Principales especies utilizadas como abonos verdes. Las leguminosas que resultan las más apropiadas dadas su capacidad para fijar el nitrógeno atmosférico a favor de los cultivos siguientes. Se utilizan especies como la alfalfa (*Medicago sativa*), el lupino (*Lupinus sp.*), el trébol rojo (*Trifolium pratense*), los tréboles dulces (*Melilotus sp.*), el frijol terciopelo (*Stizolobium deeringianum*), el kudzú (*Pueraria javanica*), la canavalia (*Canavalia ensiformis* (L) D.C.), la crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), el Guandul (*Cajanus cajan* (L) Milss), (Burbano, 1989, 342).

Las gramíneas se siembran casi siempre para abono verde en asociación con leguminosas, lo cual permite obtener una masa de vegetación mayor que con leguminosas solas quedando, por tanto, mejor ocupado el terreno. Se emplean especies como el centeno (*Secale cereale*), la cebada (*Hordeum sativum*), la

avena (*Avena sativa*), el pasto gordura (*Melinis minutiflora*) (Burbano, 1989, 343).

Las crucíferas tienen un desarrollo muy rápido y proporcionan un buen abono verde cuando se dispone de poco tiempo. Son capaces de utilizar las reservas minerales mejor que la mayor parte de las plantas por la extensión de su sistema radicular y por acumular importantes cantidades de elementos en su parte aérea. Como especies utilizadas están la colza (*Brassica napus*), el rábano forrajero (*Raphanus raphanistum*) (Burbano, 1989, 343).

1.5.2.5 Abonos orgánicos. Un abono orgánico es un recurso orgánico capaz de proporcionar cantidades notables de nutrientes esenciales, principalmente nitrógeno, fósforo y potasio al suelo o a las plantas (Gómez, 2000, 49).

La adición de abonos orgánicos, como la pulpa descompuesta y gallinaza, conllevan a la obtención de plantas vigorosas y sanas ya que estos aportan nutrimentos y dan una mayor aireación al suelo, lo cual redundará en menor compactación, buena capacidad de retención de humedad y mayor desarrollo de raíces (Cenicafé, 1987, citado por Guerrero y Muñoz, 1994, 5).

Durante la descomposición de los residuos orgánicos de las plantas los microorganismos usan algo de carbono, energía y otros nutrientes para su propio crecimiento a la vez, los tejidos sintetizados mueren y llegan a convertirse en sustrato orgánico (Fassbender, 1982, citado por Guerrero y Muñoz, 1994, 5).

1.5.3 Prácticas de manejo y recuperación de suelos. Los elementos comunes en lo que se refiere al manejo y recuperación del suelo son la incorporación de materia orgánica, el mantenimiento de la cobertura protección mediante rotaciones y asociaciones de cultivos con leguminosas (Alvarado y Wiener, 1998, 48).

Las técnicas de recuperación y mantenimiento de la fertilidad natural del suelo forman parte de un manejo integral, las cuales generalmente son sencillas y deben ser adoptadas con relativa facilidad por los agricultores (Clades, 1998, 37).

Entre las principales técnicas para el manejo ecológico del suelo se puede mencionar las siguientes:

1.5.3.1 Terrazas. Serie sucesiva de plataformas (bancos o terraplenes), dispuestos a manera de escalones en las laderas. En las terrazas se controla eficazmente la erosión, se incrementa el área total del terreno disponible para cultivar, además se reduce el efecto de las sequías debido a que en las terrazas se almacena más agua (Cet y Clades, 1998, 94).

1.5.3.2 Zanjas de infiltración. Son pequeños canales de sección rectangular o trapezoidal, que se construyen transversalmente a la máxima pendiente del terreno y siguiendo la curva a nivel. Entre las principales ventajas es que permite interceptar el agua de escorrentía que proviene de la parte alta de la ladera,

permitiendo una mayor infiltración reduciendo la erosión hídrica del suelo (Cet y Clades, 1998, 95).

1.5.3.3 Cultivos en contorno. Consiste en disponer las hileras de siembra en forma transversal a la pendiente en curvas de nivel. Esta técnica tiene los siguientes beneficios: reduce la velocidad de arrastre de las partículas del suelo, favorece la infiltración del agua, disminuye la erosión del suelo e incrementa la productividad del cultivo (Clades, 1998, 32).

1.5.3.4 Zanjas Fértiles. Esta es una practica mecánica por medio de la cual se pretende restituir la capacidad productiva de suelos que han sido abandonados para labores agropecuarias. Consiste en llevar a cabo apertura de surcos a un metro de distancia, inicialmente con uno a dos pases de arado de vertedera de tracción animal, para posteriormente hacer zanjas de 0.30 m de ancho y 0.30 m de profundidad, las cuales se rellenan con una capa densa de residuos de cosecha como tamo de trigo, caña de maíz picada, tamo de avena etc., remojándolos con bioabono para zanjas fértiles, sin filtrar y mezclándolo con agua en proporción 2:2; finalmente, los residuos se cubren con el suelo extraído (Sañudo, Checa y Arteaga, 2001, 30).

1.5.3.5 Subsoladores Biológicos. Existen ciertas especies de crecimiento espontáneo como la chilca (*Baccharis sp.*), el quillotoco (*Tecoma stans*), el guandúl (*Cajanus cajan*), las cuales producen un sistema radical amplio y capaz

de atravesar el sustrato compactado. La instalación de dichas especies es conveniente como practica de recuperación de suelos, por un doble beneficio: aportar mulch con las podas y abrir canales en el subsuelo, dejados por las raíces al morir, se aconseja su cultivo en surcos cada 3 m., con distancias de un m., entre plantas (Sañudo, Checa y Arteaga, 2001, 31).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el corregimiento de Mapachico, municipio de Pasto, a 2710 msnm, en dos suelos superficiales, uno con presencia de un horizonte inferior compacto y otro con presencia de sustrato suelto, ambos de baja productividad traducido en escaso desarrollo y bajos rendimientos de los distintos cultivos.

Estos suelos están clasificados como ANDEPTS, son derivados de cenizas volcánicas, poco evolucionados, por contar únicamente con dos horizontes:

SUELO UNO: Horizonte superior color negro, con profundidad efectiva menor de 10 cm y un horizonte interno, constituido por un material consolidado, compacto, impermeable. Grado textural franco - arcilloso.

SUELO DOS: Consta de dos horizontes, el primero con menos de 5 cm, con sustrato grisáceo suelto, mientras que el horizonte interno esta compuesto por un material suelto arenoso y pedregoso. Grado textural franco-arcillo - arenoso.

En cada suelo se cumplió lo siguiente:

2.1 Diseño experimental. Se trabajó con un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos correspondieron a:

T1: Zanjas fértiles – avena

T2: Zanjas fértiles – abono verde – avena

T3: Abono verde – avena

T4: Avena (testigo)

T5: Testigo absoluto

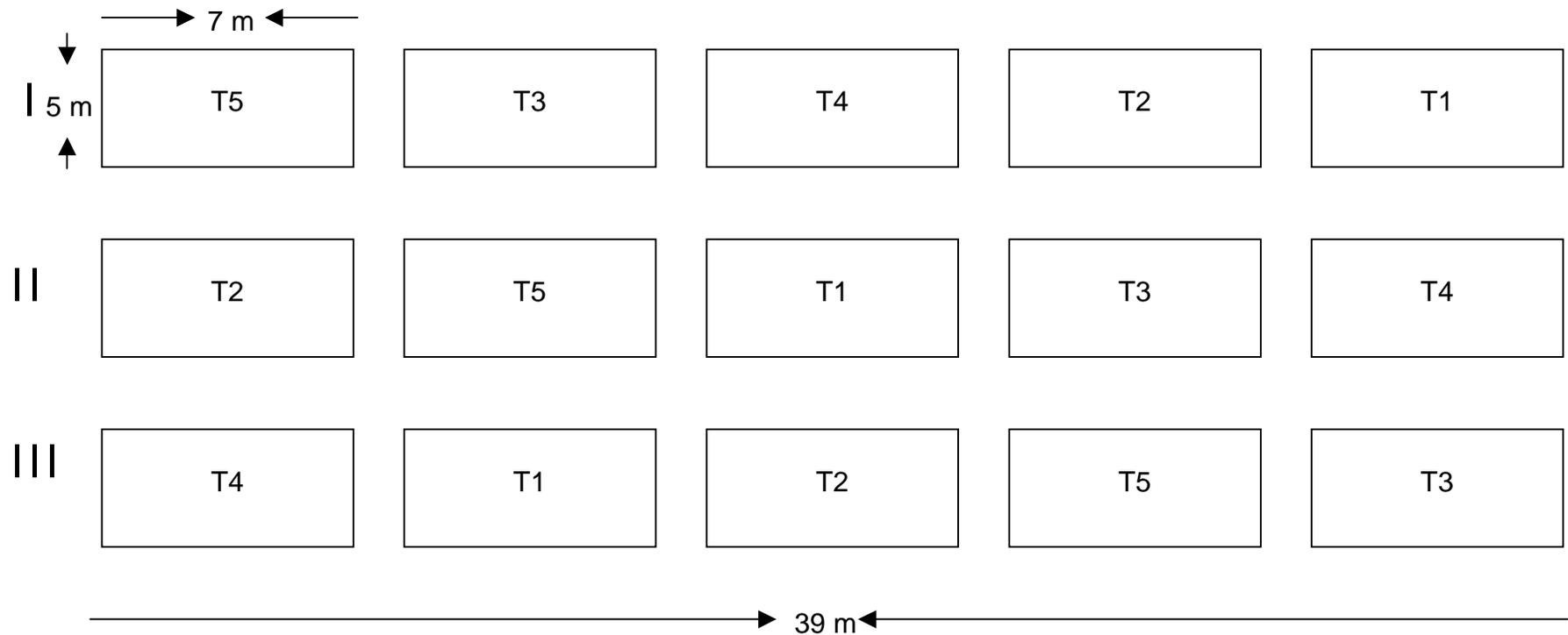
2.2 Sitios de trabajo. En cada uno de los dos sitios se trabajó con un lote de 18.0 m x 39.0 m, en los cuales se trazó tres bloques de 5.0 m x 39.0 m, separados por calles de 1.50 m. En cada bloque se ubicaron cinco parcelas de 5.0 m x 7.0 m, separadas por calles de 1.0 m, para distribuir al azar los tratamientos, (Ver figura 1).

2.3 Descripción de los tratamientos

2.3.1 Zanjas fértiles- abono verde - avena

En las parcelas asignadas con este tratamiento se llevo a cabo la siguiente metodología:

Figura 1. Mapa de Campo.



Entre parcelas: 1.00 m.

Entre bloques: 1.50 m.

a. Inicialmente se trazó seis surcos a 1 m entre ellos y con una longitud de 7 m para abrir zanjas de 0.30 m de ancho y 0.40 m de profundidad. Las zanjas se rellenaron con tamo de trigo descompuesto, compactándolo y remojándolo con un caldo microbial que se preparo 15 días antes y se sometió a fermentación (Ver figura 2), el cual se preparo con lo siguiente:

- 200 litros de agua.
- 2 litros de leche cruda.
- 50 Kg. de estiércol fresco.
- 200 cc. de agua oxigenada.
- Disolución de 3 a 5 litros de melaza.
- 10 Kg. de fosforita huila.

b. Las zanjas rellenas se cubrieron con el suelo extraído, dejando un camellón como señal.

c. Después de 60 días, se realizo el mismo procedimiento anterior en zanjas nuevas entre las viejas, roturando el camellón dejado en las zanjas viejas para sembrar chocho (*Lupinus mutabilis*), a una distancia de 0 - 10 m entre semillas colocándolas individualmente.

d. A los 60 días después de haberse cubierto las zanjas nuevas, se sembró chocho (*Lupinus mutabilis*) roturando el camellón que se dejó sobre las mismas, empleando distancias iguales a las utilizadas anteriormente.

Figura 2. Zanjas rellenas con tamo de trigo



e. Una vez las plantas de chocho de las zanjas viejas llegaron a la floración, se realizó el corte y picado de los tejidos aéreos, disponiéndolos superficialmente en las calles. El mismo procedimiento se realizó en las plantas de chocho florecidas en las trincheras nuevas.

f. Después de cinco días de haber realizado el corte y picado de las plantas de chocho de las zanjas nuevas, se hizo la aspersión del caldo microbial sobre toda la superficie de la parcela y se procedió a incorporar los tejidos del abono verde con los 10 centímetros superficiales de suelo.

g. Luego de 45 días de hecha la incorporación se realizó la siembra de avena forrajera (*Avena sativa L.*) al voleo en cantidad de 100 kilos por hectárea.

2.3.2 Zanjas fértiles- avena. El procedimiento que se cumplió en las parcelas correspondientes a este tratamiento es el siguiente:

a. En las mismas fechas que para el tratamiento anterior se realizó las zanjas fértiles viejas y nuevas.

b. La roturación de las parcelas se hizo en la época de siembra de la avena forrajera tal como se cumplió en el primer tratamiento.

2.3.3 Abono verde – avena. En este tratamiento se cumplió lo siguiente:

a. En las mismas fechas de las dos siembras de chocho (*Lupinus mutabilis*) realizadas en las parcelas del tratamiento anterior, se roturo los surcos para sembrar la semilla de la leguminosa en este tratamiento.

b. El corte y picado del abono verde se realizó en las épocas de floración, siguiendo la misma metodología que para el primer tratamiento, llevando a cabo la distribución de los tejidos, aplicación de caldo microbial y mezcla con el suelo por roturación.

c. Una nueva roturación del suelo de las parcelas se realizó para la siembra de la avena forrajera en la misma fecha que para los dos tratamientos anteriores.

2.3.4 Avena (testigo). En la misma fecha de roturación y siembra de avena de los tres tratamientos anteriores, se realizó esta misma labor para las parcelas correspondientes a este tratamiento.

Estas parcelas sirvieron como testigo para realizar las comparaciones de los componentes de rendimiento y producción de biomasa de avena forrajera expresados por los demás tratamientos.

2.3.5 Testigo absoluto. En cada repetición se tuvo una parcela, a la cual no se le realizó ninguna practica en el suelo y se la dejó en barbecho con el fin de que sirva como testigo para realizar comparaciones del comportamiento de las propiedades físicas del suelo expresadas con la aplicación de los diferentes tratamientos.

2.4 Evaluaciones

2.4.1 Propiedades físicas. En cada uno de los lotes se realizaron tres muestreos en cada parcela , que correspondieron a tres épocas en el ciclo de la evaluación, uno previo a la realización de zanjas e incorporación de abono verde, otro posterior a esto y un último al hacer el corte de la avena. Las épocas coincidieron con los meses de enero del 2001, para la época 1, septiembre del 2001, para la época 2 y enero del 2002, para la época 3.

Las propiedades físicas evaluadas fueron las siguientes:

2.4.1.1 Densidad aparente (g /cc). Por el método del cilindro de volumen conocido, a partir de la siguiente ecuación:

$$Da = \frac{M_{ss}}{V_c}$$

Donde : Da = Densidad aparente del suelo, g / cc .

M_{ss} = Masa del suelo seco a 105 °C, g.

V_c = Volumen del cilindro donde se tomo la muestra de suelo

(Instituto Universitario Juan de Castellanos, 1998, 126)

2.4.1.2 Densidad real (g/cc) . Por el método del picnómetro, el cual se basa en la determinación de la masa y el volumen de sólidos del suelo a través de un volumen de frasco conocido. Los cálculos se hicieron a partir de la siguiente ecuación:

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V_{ss}}$$

Donde: D_s = Densidad de las partículas o densidad real, g/cc

M_{ss} = Masa de suelo seco, g.

V_{ss} = Volumen de suelo seco, cc

(Instituto Universitario Juan de Castellanos, 1998, 126)

2.4.1.3 Porosidad total (%). Se obtuvo con los datos de densidad real y densidad aparente mediante la siguiente relación:

$$VTP = \left(1 - \frac{D_a}{D_s}\right) * 100$$

Donde : VTP = Volumen total de poros, %

D_a = Densidad aparente, g/cc

D_s = Densidad de las partículas, g/cc

(Instituto Universitario Juan de Castellanos, 1998, 127)

2.4.1.4 Distribución de poros. Equilibrando las muestras a una columna de 75cm de succión en la mesa de tensión y a 1000 y 1500 cm (1 y 15 bares) de succión en las ollas y platos de presión, lo cual permite determinar la capacidad del suelo para retener agua, la lamina de agua aprovechable y su porosidad funcional (macro, meso y microporos) (Instituto Universitario Juan de Castellanos, 1998, 148).

2.4.1.5 Penetrabilidad. Se la obtuvo por presión vertical en el suelo por medio del penetrógrafo de pistón.

2.4.1.6 Porcentaje de humedad volumétrica del suelo. Se la obtuvo a partir de los datos de densidad aparente, convirtiendo el porcentaje de humedad del suelo con base en peso seco a la estufa (humedad gravimétrica) en porcentaje de humedad con base en volumen, aplicando la siguiente formula:

$$HV(\%) = \%HG * D_a$$

Donde: $HV(\%)$ = Porcentaje de humedad volumétrica

$HG(\%)$ = Porcentaje de humedad gravimétrica

Da = Densidad aparente

(Instituto Universitario Juan de Castellanos, 1998, 129)

2.4.2. Contenido de materia orgánica. Se determinó para una profundidad de 0 – 10 cm en el suelo, utilizando el método de colorimetría, realizando un solo muestreo en cada una de las parcelas de los dos lotes al momento del corte de la avena.

2.4.3 Relación carbono nitrógeno. Se la obtuvo a partir del porcentaje de materia orgánica encontrando los contenidos de carbono y nitrógeno, teniendo en cuenta las siguientes formulas:

$$\% \text{ N. Total} = (\% \text{ MO} / 20)$$

$$\% \text{ Carbono} = (\% \text{ MO} / 1.724)$$

2.4.4 Componentes de rendimiento y producción de biomasa de avena.

En la época de forjamiento de la avena forrajera en todas las parcelas se procedió a evaluar los siguientes aspectos:

2.4.4.1 Población de plantas. En cada parcela se colocó un marco de madera de 1 m² para contabilizar el número total de plantas de avena forrajera.

2.4.4.2 Altura de plantas. En 20 plantas tomadas al azar de cada parcela se midió la altura desde la base a la panoja principal, obteniendo el promedio.

2.4.4.3 Número de tallos. En las mismas 20 plantas se contó el número total de tallos, obteniendo el promedio por planta.

2.4.4.4 Biomasa. En un área de un metro cuadrado, se hizo el corte de las plantas y se procedió a pesarlas, para transformar los datos a toneladas por hectárea. Del total, se saco un kilo, para llevarlo a la estufa a 62° C por 48 horas, determinando la producción de biomasa seca.

2.5 Análisis estadístico. Los datos se interpretaron estadísticamente por medio del análisis de varianza y la prueba de significancia de Tukey.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN MEDIDA EN CAMPO

3.1.1 Comparación entre tratamientos. El comportamiento de la resistencia a la penetración en los 5 tratamientos, presentó diferencias significativas con valores que oscilaron entre 3.87 y 2.68 Mpa. en perfil del suelo (Anexo A), valores que se consideran como críticos ya que según Amézquita (1990), citado por Ruiz (1999, 151), valores superiores a 1.5 Mpa son restrictivos para el normal desarrollo de las raíces en los cultivos; pero hay que tener en cuenta que los tratamientos T1 y T2 presentaron los valores mas bajos, 2.68 y 2.74 Mpa. respectivamente, hasta los 30 cm de profundidad analizados, si se los compara con el testigo absoluto T5, en el cual se obtuvo una resistencia a la penetración de 3.85 Mpa., (Figura 4), presentando un contenido de humedad volumétrica de 24% para el tratamiento T1 y 26.69% para el tratamiento T2.

Lo anterior nos indica que las practicas aplicadas a estos tratamientos, tuvieron un efecto positivo posiblemente al incrementarse el contenido de materia orgánica en el suelo disminuyendo la resistencia a la penetración, ya que de acuerdo con Amézquita (2001, 17), entre los beneficios que físicamente aporta la materia orgánica al suelo están: el aumento de la agregación, porosidad, aireación,

capacidad de infiltración y percolación, favoreciendo así la penetración por parte de las raíces.

3.1.2 Comparación entre profundidades. La resistencia a la penetración evaluada en las tres profundidades presentó diferencias significativas (Anexo A) con un incremento en los valores a medida que se profundiza en el perfil del suelo. La profundidad 1(0-10 cm) mostró un valor de 2.57 Mpa, mientras que las profundidades 2(10-20 cm) y 3(20-30 cm), mostraron valores de 3.58 y 3.85 Mpa. respectivamente sin manifestarse una diferencia estadística entre estas (Figura 3), lo que demuestra la presencia de capas endurecidas y explica los valores críticos obtenidos en los tratamientos.

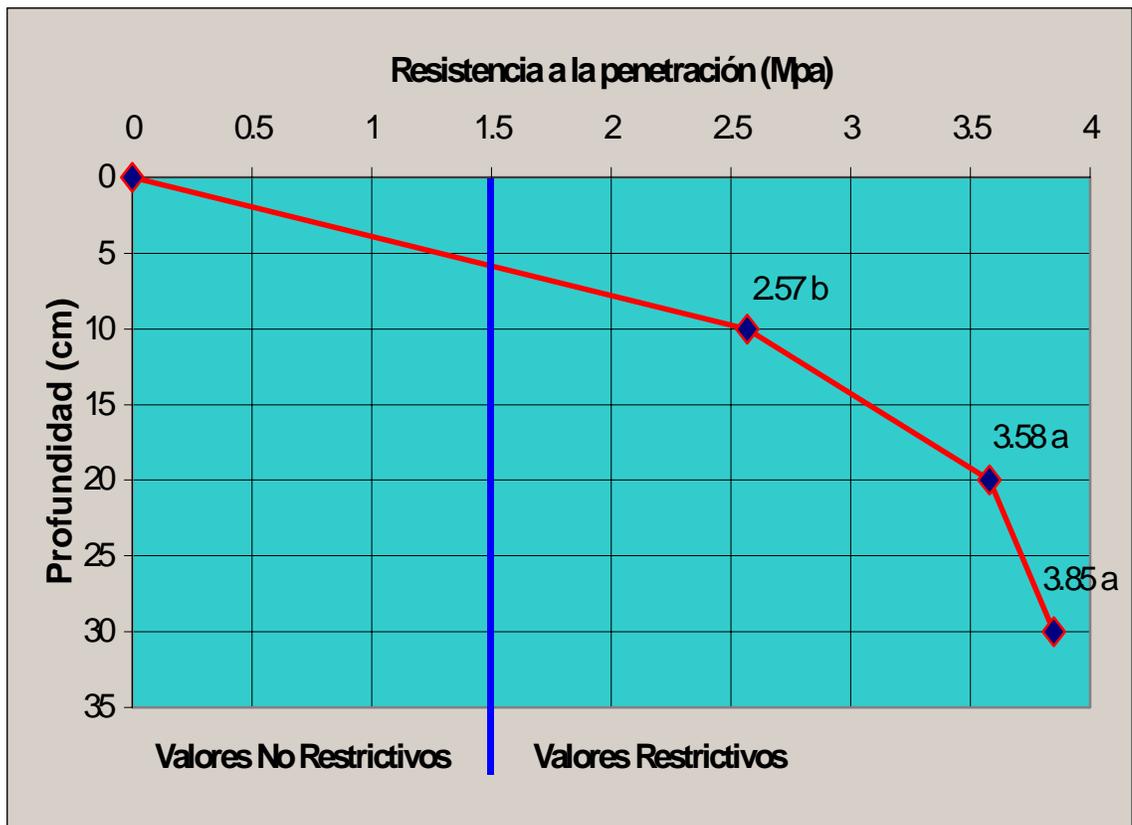
Una situación similar encontraron García, Montes y Saument (1999, 9), en suelos de Montes de Maria, departamento de Bolívar, e indican que existe una tendencia nítida para el aumento de la resistencia a la penetración al igual que para la densidad aparente a medida que se profundiza en el perfil del suelo debido a la presión ejercida por las capas superiores sobre las adyacentes ocasionando reducción de la porosidad.

Aunque es preciso anotar que el contenido de humedad volumétrica se vio incrementado a medida que se profundiza en el perfil del suelo como se ve en la figura 9 pasando de 24.26% en la profundidad 1 (0-10 cm) a 28.03% en la profundidad 3 (20-30 cm).

3.1.3 Comparación entre épocas. Entre épocas de los valores de resistencia a la penetración manifestaron diferencias altamente significativa (Anexo A), presentándose en la época 3 el menor valor de dicha resistencia, que fue de 3.10 Mpa., y siendo la época 2 la que presentó el mayor valor con una resistencia a la penetración de 3.66 Mpa. (figura 4), siendo los tres valores considerados como restrictivos para el normal desarrollo de las raíces de las plantas según Amézquita (1990), citado por Ruiz (1999, 151), aunque es preciso destacar que la época 1 con un valor de 3.24 Mpa. no presentó diferencia estadística con la época 3.

Es posible que el menor valor de la resistencia a la penetración que se presentó en la época 3 sea debida al mayor lapso de tiempo transcurrido desde la incorporación de material orgánico mediante los diferentes tratamientos aplicados, ya que para la época 3 la descomposición de este material ha tenido un progreso con respecto a las otras épocas, lo que puede haber incrementado el contenido de materia orgánica, aportando beneficios al suelo como el incremento de la porosidad total, aireación, agregación de partículas, capacidad de infiltración y precolación tal como lo señala Amézquita (2001, 17). Además mirando los valores obtenidos para densidad aparente y porosidad total en la época 3 que muestran los Anexos B y D, nótese que es en esta época donde se obtuvo el menor valor de densidad aparente y mayor porcentaje de porosidad total, situación que pudo

Figura 3. Comportamiento de resistencia a la penetración en el perfil del suelo.



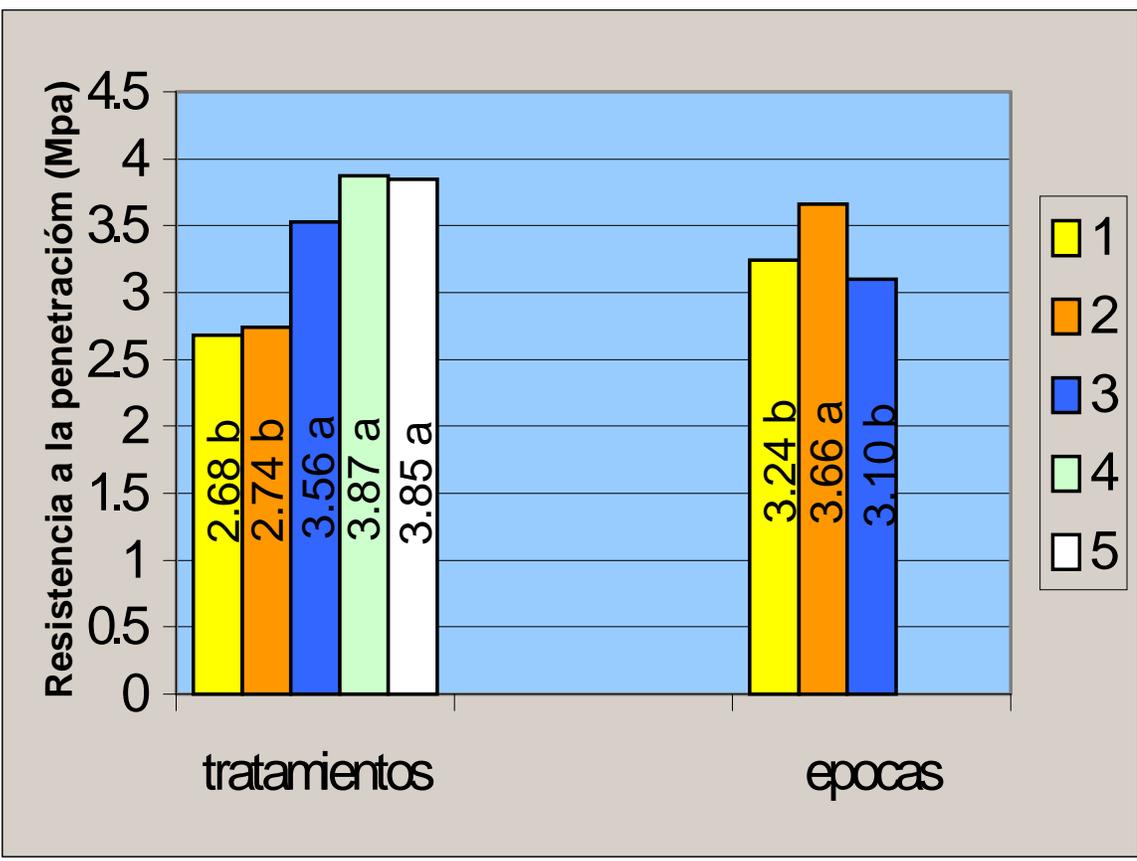
favorecer la disminución de la resistencia a la penetración.

Tomando el contenido de humedad volumétrica presentado por el suelo en la época 3 al momento del corte de la avena, que fue del 28.22% (Figura 9), se podría decir que este también contribuyó a reducir la resistencia a la penetración para esta época; sin embargo, el mayor contenido de humedad volumétrica se lo obtuvo en la época 1 previa a la realización de las zanjas fértiles e incorporación de abono verde, obteniéndose un valor en la resistencia a la penetración de 3.24 Mpa.

Forsythe, (1967), citado por Merchancano y Gómez, (1984, 13), afirma que la resistencia mecánica que experimenta una raíz a la penetración del suelo, depende en gran parte de la humedad del suelo, de la compactación, la succión del agua, la densidad aparente, la porosidad y contenido de materia orgánica.

3.1.4 Comparación entre localidades. Entre localidades no se presentaron diferencias significativas (Anexo A), obteniéndose valores de 3.34 Mpa. para la localidad 2 y 3.33 Mpa. para la localidad 1. Estos valores son considerados restrictivos, para el normal desarrollo de las raíces. (Amézquita,1990 citado por Ruiz ,1999, 151)

Figura 4. Comportamiento de resistencia a la penetración entre tratamientos y épocas.



3.2 COMPORTAMIENTO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DETERMINADAS EN LABORATORIO

3.2.1 Densidad aparente

3.2.1.1 Comparación entre tratamientos. En el presente estudio se observó diferencias significativas entre tratamientos para la variable de densidad aparente con valores que oscilaron entre 0.99 y 1.05 g/cc (Anexo B), los valores más bajos los presentaron los tratamientos T1 y T2 respectivamente, en los cuales se realizó apertura de zanjas e incorporación de material orgánico; seguidos por el tratamiento T3 en el cual se realizó incorporación de material vegetal como abono verde, sin exhibir una diferencia estadística de este último con respecto al tratamiento T2 (Figura 5).

Según la taxonomía norteamericana de suelos Soil Surety Staff (1975), citada por Andreux (1983, 118), los Andeps se definen en base a sus densidades aparentes bajas (< 0.85 g/cc) y teniendo en cuenta que los suelos del presente estudio, pertenecen a este tipo de clasificación taxonómica, cabe anotar que en todos los tratamientos el análisis físico mostró densidades aparentes altas, esto como consecuencia del proceso de compactación que han experimentado estos suelos. Sin embargo hay que destacar que los tratamientos T1 y T2 en los cuales se realizaron las prácticas de incorporación de residuos orgánicos por medio de zanjas fértiles, contribuyeron a bajar los valores de la densidad aparente, ya que

estos valores se vieron superados por el valor obtenido en el testigo absoluto T5, tal como lo muestra Figura 5.

Cifuentes (2001, 44), afirma que a medida que se van aumentando los contenidos de materia orgánica en el suelo, los valores de densidad aparente empiezan a disminuir, debido a que se mejoran las condiciones físicas del suelo con el mejoramiento de su estructura; a su vez Bures (2000, 18), menciona que la materia orgánica disminuye la densidad aparente del suelo (por tener menor densidad que la materia mineral), contribuye a la estabilidad de los agregados, mejora la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua.

Teniendo en cuenta lo anterior, la disminución de la densidad aparente que experimento el suelo de los tratamientos T1 y T2 se la puede atribuir a que las incorporaciones realizadas por medio de zanjas fértiles contribuyeron a aumentar en algún grado el contenido de materia orgánica, lo que conlleva al mejoramiento de las condiciones físicas del suelo entre ellas el aumento de la porosidad. Cabe anotar que un efecto similar se produjo sobre el suelo del tratamiento T3 con solo la incorporación del abono verde ya que el valor de la densidad aparente fue menor con relación al testigo T5. Sin embargo, las incorporaciones llevadas a cabo aplicando la práctica de zanjas fértiles en los tratamientos T1 y T2, manifestaron la menor disminución en los valores de densidad aparente.

Por lo cual se podría decir que el incremento en la porosidad del suelo contribuye a disminuir la densidad aparente como lo manifiesta Ruiz (1999, 53), cuando expresa que la disminución en el valor de la densidad aparente puede significar un mejoramiento en la porosidad del suelo.

3.2.1.2 Comparación entre profundidades. El comportamiento de la densidad aparente a medida que se profundiza en el perfil del suelo mostró una tendencia a aumentar, presentando diferencias estadísticas, con valores entre 0.99 g/cc para la profundidad 1 (0-10 cm) y 1.05 g/cc para la profundidad 3 (20-30 cm) (Anexo B), aunque en las tres profundidades el valor de la densidad aparente es alto; siendo la profundidad uno la que presento el valor mas bajo, posiblemente por presentar mayor contenido de materia orgánica (Figura 5).

Es posible que la presión que ejerce una capa de suelo sobre las capas inferiores al reacomodarse después de haberse realizado la remoción del mismo para incorporar material orgánico, como en este caso realizando zanjas fértiles, sea la razón por la cual la densidad aparente se vio incrementada a medida que se profundiza en el perfil del suelo, por la disminución en el espacio poroso, tal como lo señala García, Montes y Saument (1999, 9). Sin embargo, hay que tener en cuenta que las practicas de recuperación aplicadas en el presente estudio contribuyeron a bajar el valor de densidad aparente en el suelo, ya que los valores obtenidos mostraron la densidad aparente mas baja en la época 3.

3.2.1.3 Comparación entre épocas. El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre épocas para esta variable (Anexo B), siendo la época 3 la que presento el valor mas bajo que fue de 0.91 g/cc; mientras que las épocas 1 y 2 mostraron valores de densidad aparente similares sin presentar diferencias estadísticas entre ellas con 1.07 g/cc, (Figura 5), la disminución en el valor de esta variable en la época 3 puede ser atribuido al mayor lapso de tiempo transcurrido desde la incorporación del material orgánico aplicado mediante las practicas de zanjas fértiles y abono verde ya que esto contribuyo a incrementar el contenido de materia orgánica y la porosidad, influyendo en la disminución de la densidad aparente por la descomposición de los materiales incorporados.

Burbano (1989), citado por Guerrero (1998, 369), menciona que cuanto más intensa sea la descomposición del material vegetal muerto, tanto mayor será su efecto agregante sobre el suelo. Solo durante su descomposición es que se forman sustancias agregantes y estabilizantes para los grumos, de esta forma cuanto mayor sea la descomposición de los restos vegetales y cuanto más activa la formación de sustancias intermediarias de descomposición, tanto mayor efecto tendrá sobre la estructura del suelo y tanto mas benéfico será.

3.2.1.4 Comparación entre localidades. Entre localidades se presentaron diferencias significativas (Anexo B), obteniendo un valor de 1.04 g/cc para la localidad 2 y un valor de 1.00 g/cm³ para la localidad 1, siendo esta ultima la que mostró una densidad aparente mas baja (Figura 5). Los valores obtenidos en las

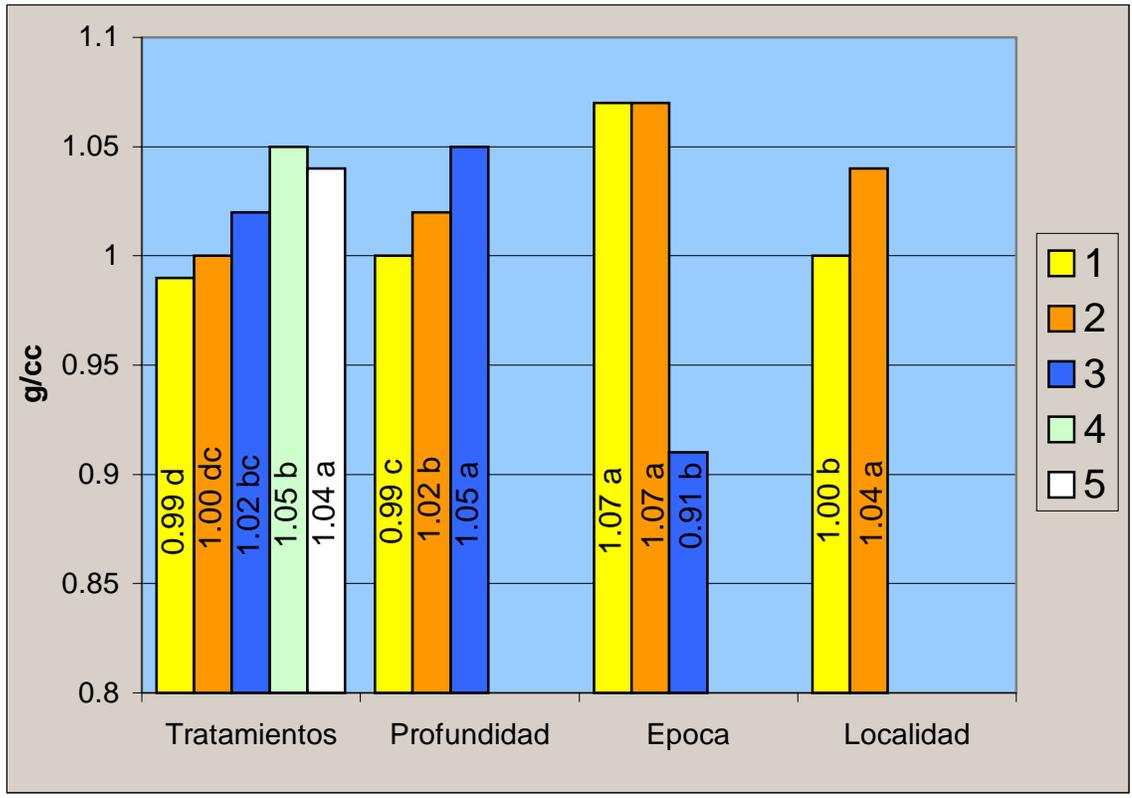
dos localidades son altos, ya que según Soil Surery Staff, (1975), citado por Andreux, (1983, 36), los Andeps se definen por presentar densidades aparentes menores de 0.85 g/cc. Sin embargo como ya se discutió anteriormente los tratamientos de zanjas fértiles y abono verde aplicados al suelo contribuyeron a disminuir el valor de la densidad aparente en las dos localidades desde el momento previo al inicio del trabajo, hasta la época 3 en la que se hizo el último muestreo.

Es posible que el suelo de la localidad 2 por presentar un horizonte interno compuesto por material pedregoso, sea la causa por la cual mostró un mayor valor de densidad aparente en comparación con el suelo de la localidad 1, ya que probablemente los contenidos de piedra aumentan la masa de un volumen determinado de suelo y por ende su densidad.

3.2.2 Densidad real

3.2.2.1 Comparación entre tratamientos. Al hacer la comparación de los datos obtenidos para densidad real se observaron diferencias significativas entre tratamientos con valores promedios que oscilaron entre 2.64 y 2.56 g/cc. (Anexo C). Los valores mas bajos de densidad real los presentaron los tratamientos T1, T5 y T2 que estadísticamente tuvieron un comportamiento igual.

Figura 5. Comportamiento de la densidad aparente entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades.



Prasad y Power (1997), citados por Salamanca (2000, 72), concluyen que la densidad real disminuye cuando los contenidos de materia orgánica se elevan; por lo anterior es posible que los tratamientos con la densidad real mas baja, posean mayores contenidos de materia orgánica.

3.2.2.2 Comparación entre profundidades. Entre profundidades se presentaron diferencias significativas observándose un incremento en el valor de densidad real a medida que se profundiza en el perfil del suelo. La profundidad 1 presentó un valor de 2.55 g/cc., mientras que la profundidad 3 presentó un valor de 2.64 g/cc (Anexo C). El aumento en el valor de densidad real a mayor profundidad puede ser debido a la compresión que ejercen las capas superficiales sobre las inferiores elevando así la densidad real de los horizontes mas profundos por la disminución de sus espacios porosos, como lo señalan García, Montes y Saument (1999, 9).

3.2.2.3 Comparación entre épocas. La variación en los valores de la densidad real, mostraron diferencias significativas entre épocas. Los valores mas altos se obtuvieron en la época 1 y 2, presentando una densidad real de 2.63 y 2.60 g/cc respectivamente, valores que estadísticamente fueron iguales. La época 3 mostró el valor mas bajo que fue de 2.54 g/cc. (Anexo C), posiblemente por haberse dado un mayor progreso en la descomposición de los residuos incorporados, incrementándose el contenido de materia orgánica hasta esta época.

3.2.2.4 Comparación entre localidades. Entre localidades se presentaron diferencias significativas para los valores de densidad real, mostrando la localidad 1 el mayor valor 2.61 g/cc superando al valor obtenido en la localidad 2 que fue de 2.57 g/cc. (Anexo C). La menor densidad real encontrada en el suelo de la localidad 2 puede deberse aparte de la incorporación de residuos orgánicos, a la presencia de arenas, ya que este suelo posee un grado textural franco-arcillo-arenoso.

3.2.3 Porosidad total

3.2.3.1 Comparación entre tratamientos. La variación en los valores del porcentaje de porosidad total, en los diferentes tratamientos, mostró diferencias significativas entre ellos (Anexo D), presentándose el mayor porcentaje en el tratamiento T1 con un valor de 61.42% y presentándose un valor estadísticamente similar en el tratamiento T2 de 61.18% (Figura 6); considerándose un porcentaje del 60% como óptimo para esperar un buen comportamiento de sus propiedades físicas dependientes, incluyendo desarrollo de raíces (Salamanca, 2000, 77).

Al corroborar con los valores de densidad aparente, nótese que son estos mismos tratamientos los que mostraron las densidades mas bajas, lo cual indica que las incorporaciones de material orgánico al suelo por medio de las practicas de zanjas fértiles y abono verde contribuyeron a aumentar el porcentaje de porosidad total y por ende a disminuir la densidad aparente del suelo.

Ruiz (1999, 66), encontró incrementos en el porcentaje de poros del suelo al aplicar diferentes sistemas de labranza y menciona que este incremento puede estar influenciado directamente por la acumulación de los residuos de cosecha manejados en la superficie del suelo. Al respecto, Cifuentes (2001, 44), dice que el aumento en el contenido de materia orgánica en el suelo, incrementa el espacio poroso disminuyendo la densidad aparente además de mejorar otras propiedades físicas como la estructura.

A su vez es importante destacar la influencia del chocho (*Lupinus Mutabilis*) utilizado como abono verde en este caso, ya que esta especie por presentar un vigoroso desarrollo radicular puede contribuir con el incremento del espacio poroso y actuar como un subsolador biológico como lo menciona Sañudo, Checa y Arteaga (2001,31).

De igual forma Ruiz (1999, 71), atribuye que el incremento en la porosidad del suelo al final del cultivo de algodón para pasar a soya, puede estar influenciado por el desarrollo radicular del cultivo de algodón en profundidad, ya que al penetrar la raíz hace un mayor espaciamiento entre los agregados que forman los poros, lo que hace que al final del cultivo pueda haber removido mas suelo el sistema radicular del algodón, que favorece la porosidad del siguiente cultivo.

3.2.3.3 Comparación entre profundidades. Entre profundidades no se presentaron diferencias significativas, ya que las tres profundidades mostraron porcentajes de porosidad total estadísticamente iguales (Anexo D).

3.2.3.4 Comparación entre épocas. El análisis del porcentaje de porosidad total mostró diferencias significativas entre épocas; presentándose un comportamiento estadísticamente similar entre la época 1 y 2 (Anexo D), con porcentajes de 59.05% y 58.54% respectivamente siendo la época 3 la que mostró el mayor porcentaje de porosidad total con un valor de 64.13% (Figura 6) .

Al igual que para la variable de densidad aparente y penetrabilidad, el progreso en la descomposición que el material orgánico incorporado experimento hasta la época 3; produjo efectos positivos en el incremento del porcentaje de porosidad total, demostrándose así que el aumento en el contenido de materia orgánica contribuye a aumentar el espacio poroso del suelo lo cual hace que se disminuya el valor de densidad aparente y la resistencia a la penetración, tal como lo señala Cifuentes (2001, 44), citado anteriormente.

3.2.3.5 Comparación entre localidades. Los valores de porcentaje de porosidad total, presentaron diferencias significativas mostrando mayor valor la localidad 1, con un porcentaje del 61.75% y presentando el menor valor la localidad 2, con un porcentaje del 59.39% (Anexo D).

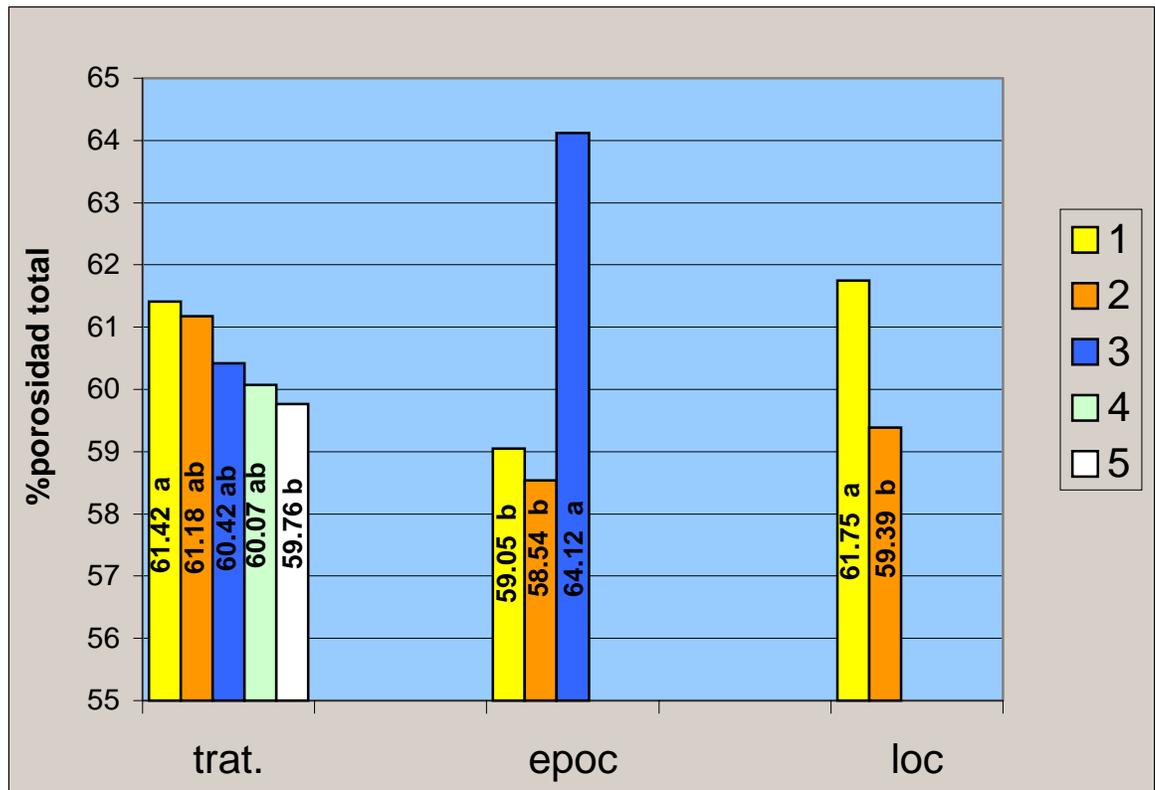
Si se observa los valores de densidad aparente obtenidos para localidades en la Figura 5, nótese que fue la localidad 2 la que mostró una mayor densidad aparente con respecto a la localidad 1, lo cual explica el menor valor en el porcentaje de porosidad total obtenido en la localidad 2 (Figura 6), ya que al reducirse el espacio poroso de un suelo se incrementa su densidad aparente.

A la presencia de un horizonte interno compuesto por material pedregoso en el suelo de la localidad 2 es posible atribuir como ya se menciono anteriormente, el mayor valor en la densidad aparente y por ende el menor porcentaje de porosidad total expresado con relación a la localidad 1.

3.2.4 Distribución de poros.

Con respecto a la variable de distribución de poros, se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos para los porcentajes de meso y microporosidad. La macroporosidad no mostró diferencias significativas y es posible que esta no haya sido afectada por los diferentes tratamientos, obteniéndose mayor cantidad de microporos por presentar los mayores porcentajes, seguido por las macroporos y mesoporos, con valores en la media general del experimento de 24.31%, 8.54% y 27.13% para macro, meso y microporosidad respectivamente. Los tratamientos T1, T2 y T3, contribuyeron a incrementar el porcentaje de mesoporos mostrando un comportamiento estadísticamente igual, ya que superaron el porcentaje de mesoporos obtenido en el testigo; sin embargo el porcentaje de microporos se vio

Figura 6. Comportamiento de la porosidad total entre tratamientos, épocas y localidades.



igualmente incrementado en estos mismos tratamientos (Anexo E).

Según Amézquita (2001, 12), el tamaño de poros tiene una estrecha relación con los procesos determinantes del contacto entre los nutrientes y la raíz que son necesarios para que estos puedan ser absorbidos por la planta: 1) intercepción por las raíces, 2) flujo de masa y 3) difusión. En el proceso de intercepción las raíces a medida que crecen encuentran el elemento en la solución del suelo y se ponen en contacto con él. En el proceso de flujo de masa el nutriente se traslada en la fase acuosa (solución del suelo) del suelo obedeciendo a gradientes de potencial hidráulico entre capacidad de campo y punto de marchites, creados por el proceso de evapotranspiración. Mediante el proceso de difusión el elemento se mueve en distancias muy cortas dentro de una fase acuosa estacionaria, de una región de alta concentración del nutrimento a otra de baja concentración muy cercana a la superficie de la raíz. La intercepción ocurre fundamentalmente por macroporos, el flujo de masa por los mesoporos y la difusión por los microporos.

Amézquita (1990), citado por Ruiz (1999, 163), considera que una distribución del tamaño de poros ideal debe tener un 15% de macro, 30% de meso y 5% de microporos, para asegurar una buena lamina de agua aprovechable y garantizar la optima relación agua-aire-raíz en el suelo, una buena relación oxidoreducción, actividad biológica y por ende una buena porosidad en el suelo.

En las Figuras 7 y 8 se observa la distribución de tamaño de poros con respecto a la ideal según Amézquita (1990), citado por Ruiz (1999, 163), teniendo en cuenta la media general del experimento y la comparación entre localidades, tomando los valores de macro, meso y microporosidad expuestos en el Anexo E.

La Figura 7 para la media general del experimento muestra un valor del porcentaje de macroporos que supera al ideal y un desbalance para la meso y microporosidad que son determinantes del agua aprovechable (Salamanca, 2000, 118). El porcentaje de microporos supero al ideal, mientras que el porcentaje de mesoporos se ve bastante limitado para alcanzar el ideal, por lo que se evidencia el problema de compactación presentado por los suelos de este estudio y se ve limitado el almacenamiento de agua aprovechable que no es otra cosa que la solución nutritiva del suelo, la cual es absorbida por las raíces de las plantas para cumplir sus funciones de transpiración y nutrición (Salamanca, 2000, 80).

En la Figura 8 para localidades se observa un comportamiento similar en la distribución del tamaño de poros al expresado por los valores de la media general del experimento, presentando una macroporosidad que supera a la ideal con valores que no difieren estadísticamente.

Figura 7. Distribución del tamaño de poros con valores para la media general del experimento

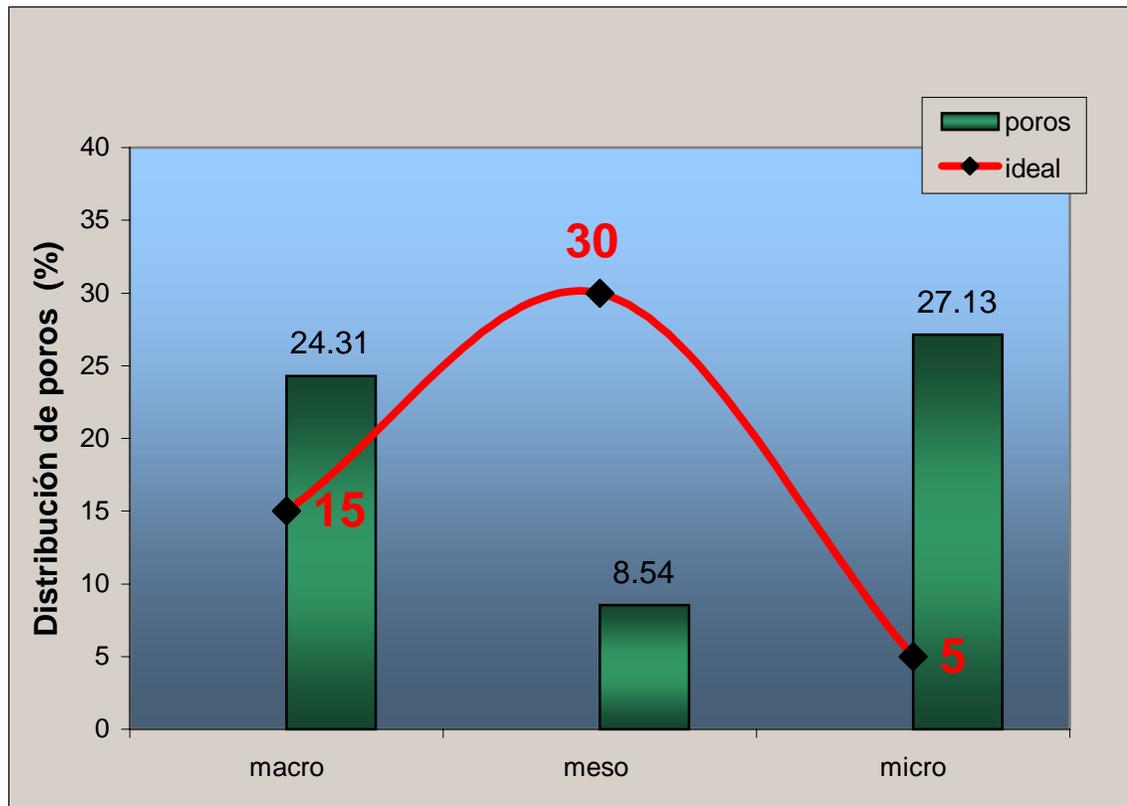
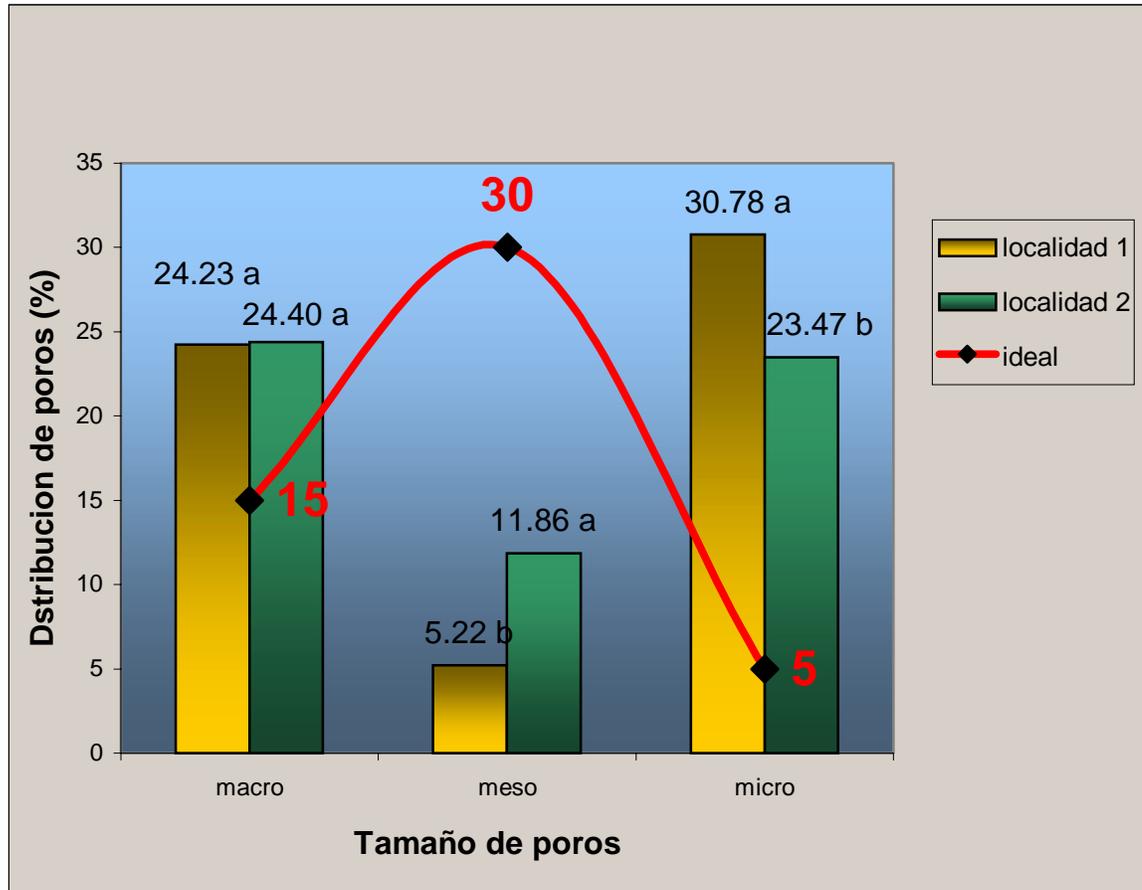


Figura 8. Distribución del tamaño de poros con valores entre localidades



La localidad 1 presento una mesoporosidad menor y una microporosidad mayor en relación a la localidad 2; sin embargo en las dos localidades el porcentaje de mesoporos es bastante limitado sin alcanzar el ideal mientras que el porcentaje de microporos supera ampliamente al ideal, manifestando problemas de compactación y almacenamiento de agua aprovechable, expuestos en el análisis de la Figura 7 para la media general del experimento. Aunque es preciso tener en cuenta que el trabajo realizado es el comienzo de un mejoramiento de suelos, que debe arrojar resultados óptimos a largo plazo; sin embargo en el presente estudio las dos localidades ya han manifestado mejoramiento en sus propiedades físicas.

3.2.5 Humedad volumétrica

3.2.5.1 Comparación entre tratamientos. El porcentaje de humedad volumétrica mostró diferencias significativas entre tratamientos, con valores que oscilaron entre 27.85% y 24.05% (Anexo F). El tratamiento que presentó mayor porcentaje fue el tratamiento T5 o testigo absoluto, con un porcentajes de humedad de 27.26% sin mostrar diferencias estadísticas con el tratamiento T4 y T2, mientras que el porcentaje mas bajo lo presentó el tratamiento T1 que fue del 24.05% (Figura 9).

Según Cifuentes (2001, 45), el aumento de materia orgánica y la cobertura aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo y disminuye la evaporación.

Hay que tener en cuenta que el tratamiento T5 o testigo absoluto se lo tuvo como barbecho durante todo el periodo de evaluación del presente trabajo, lo cual contribuyo a proteger al suelo de la evaporación favoreciendo el contenido de humedad volumétrica expresando el mayor porcentaje en relación a los demás tratamientos.

En la Figura 9 se puede ver que el tratamiento T2 correspondiente a zanjas fértiles mas abono verde, mostró comportamiento estadísticamente igual al testigo T5, lo cual indica que la practica realizada en el tratamiento T2 proporciona un beneficio similar al de tener cobertura vegetal sobre el suelo como en el tratamiento T5, manteniendo el contenido de humead edáfica. Según Amézquita (2001, 17), la incorporación de residuos orgánicos favorecen el incremento de la capacidad de retención de humedad por parte del suelo.

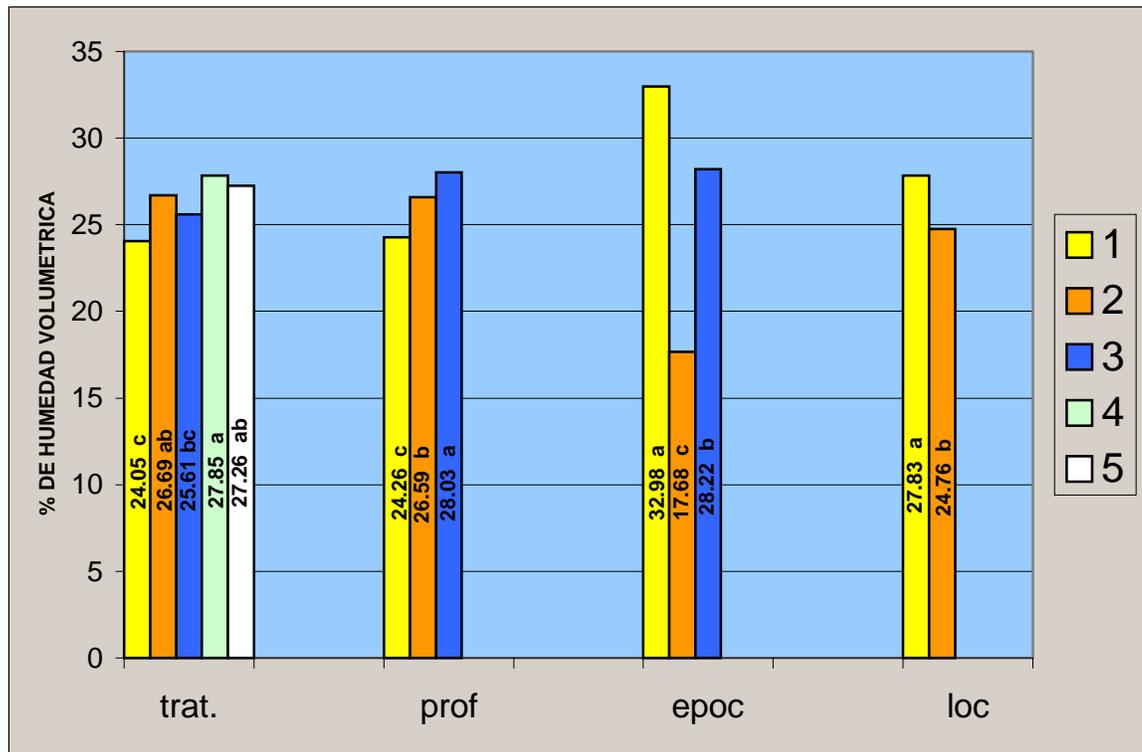
3.2.5.2 Comparación entre profundidades. La variación de los valores del porcentaje de humedad volumétrica en las tres profundidades de muestreo presentaron diferencias altamente significativas, con una tendencia a incrementarse este porcentaje a medida que se profundiza en el perfil del suelo (Anexo F); es así como la profundidad 1 (0-10 cm) presentó el más bajo porcentaje 24.26% y la profundidad 3 el más alto 28.03% (Figura 9), esto debido a que a mayor profundidad el efecto de la evaporación disminuye, lo cual sumado al incremento en los contenidos de materia orgánica obtenidos con las diferentes

prácticas aplicadas al suelo en el presente estudio, favorecieron la retención de humedad en los perfiles más profundos, tal como lo señala Cifuentes (2001,45).

3.2.5.3 Comparación entre épocas. Para las tres épocas de muestreo se presentaron diferencias altamente significativas en el porcentaje de humedad volumétrica (Anexo F). Los valores promedios catalogan a la época 1 con el mayor porcentaje de humedad obteniendo un 32.98%, seguida por la época 3 y 2 con porcentajes de 28.22% y 17.68% respectivamente (Figura 9). Estas variaciones, probablemente tuvieron relación con el volumen y distribución de la precipitación durante las épocas de muestreo las cuales coincidieron con los meses de enero del 2001, para la época 1, septiembre del 2002, para la época 2 y enero del 2002, para la época 3; tal como se observa en el Anexo K, donde se presenta los datos promedio de precipitación correspondientes a los meses en que se llevó a cabo esta investigación.

3.2.5.4 Comparación entre localidades. Entre localidades se presentaron diferencias altamente significativas (Anexo F), con valores en el porcentaje de humedad de 27.83% para la localidad 1 y 24.76% para la localidad 2, (Figura 9); siendo la localidad 1 la que supera a la localidad 2 en el porcentaje de humedad debido a que esta presenta un suelo con mayor contenido de arcilla (textura franco-arcillosa) en comparación al suelo de la localidad 2 que se caracteriza por presentar material suelto, arenoso y pedregoso (textura franco-arcillo-arenosa) que disminuye la capacidad de retención de humedad.

Figura 9. Comportamiento de la humedad volumétrica entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades.



3.3 COMPORTAMIENTO DE LA MATERIA ORGANICA, DETERMINADA EN LABORATORIO

3.3.1 Comparación entre tratamientos. El análisis estadístico mostró diferencias significativas para los contenidos de materia orgánicas entre los diferentes tratamientos (Anexo G). El tratamiento T2 con un valor de 6.59% mostró el mayor contenido de materia orgánica seguido por el tratamiento T1 con un valor de 5.78% y el T3 con un valor de 5.62% (Figura 10); valores que se catalogan como medios para los contenidos de materia orgánica en suelos de clima frío (ICA, 1992, citado por el Instituto Universitario Juan de Castellanos, 1998, 253).

Comparando estos valores con el porcentaje de materia orgánica presentado por el testigo absoluto T5 que fue de 4.58% catalogado como bajo para los suelos de clima frío, (ICA, 1992, citado por Instituto Universitario Juan de Castellanos, 1998, 253), se observa el beneficio que aportaron los tratamientos T1, T2 y T3 al realizar las practicas de recuperación de suelos zanjás fértiles y abono verde, utilizadas en el presente trabajo elevando los contenidos de materia orgánica con la incorporación de residuos vegetales.

Con la combinación de la practica de zanjás fértiles mas abono verde empleada en el tratamiento T2 se logro incrementar en un mayor porcentaje el contenido de materia orgánica, aunque el valor obtenido en este tratamiento no mostró diferencias estadísticas con los tratamientos T1 y T3 (Figura 10), poniéndose de

manifiesto que las incorporaciones de residuos vegetales pueden incrementar el contenido de materia orgánica en el suelo, y es posible que la practica de zanjás fértiles mas abono verde del tratamiento T2, por incorporar mayor cantidad de residuos vegetales, aumente en algún grado mayor el contenido de materia orgánica en el suelo que la utilización de solo zanjás fértiles como en el tratamiento T1 o solo abono verde como en el tratamiento T3.

Casas (2000, 17), evaluando entre otros aspectos el efecto de la *Crotalaria juncea* y el *Phaseolus aureus* utilizados como abono verde sobre la fertilidad del suelo, encontró al igual que en el presente estudio incrementos en el contenido de materia orgánica, realizando las incorporaciones al suelo.

3.3.2 comparación entre localidades. Entre localidades se presentaron diferencias altamente significativas (Anexo G) ya que en la localidad 1 se encontró mayor contenido de materia orgánica con un porcentaje del 6.33% superando a la localidad 2 en un 2.00%, la cual mostró un contenido de materia orgánica del 4.33% (Figura 10).

Según Andreux (1974, 231), la aireación y la humedad del suelo son factores que con frecuencia están asociados y afectan los procesos de descomposición de la materia orgánica. En condiciones anaeróbicas, el proceso de descomposición de la materia orgánica es menos eficiente que en condiciones de alta aireación.

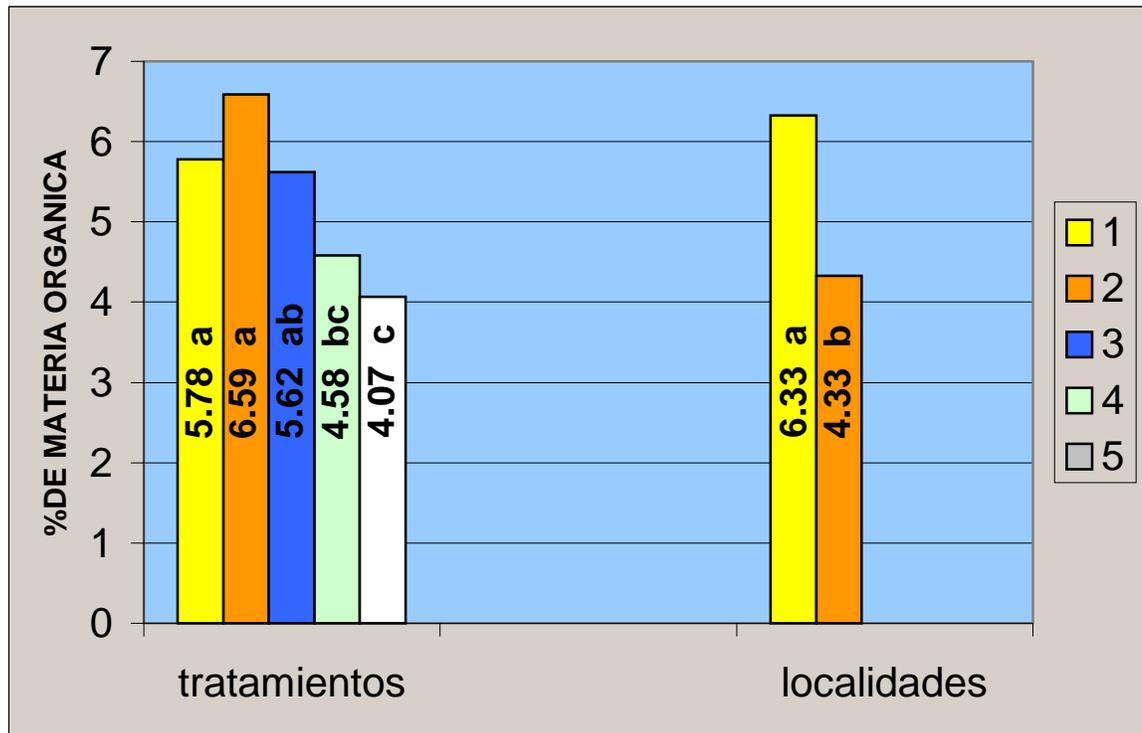
Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente se puede atribuir que el menor porcentaje en el contenido de materia orgánica mostrado por el suelo de la localidad 2, estuvo influenciado por un menor contenido de humedad volumétrica y un menor porcentaje de porosidad total con respecto a la localidad 1, tal como se ve en las figuras 6 y 9, ya que la descomposición de los residuos incorporados pudo haber sido menos eficiente por presentar una menor aireación y humedad, afectando las condiciones aeróbicas en las que se da una buena descomposición de los residuos orgánicas.

3.4 RELACION CARBONO-NITROGENO

3.4.1 Comparación entre tratamientos. El análisis estadístico para la relación C/N no mostró diferencias significativas entre tratamientos con un variación en los valores entre 11.48 y 11.65, obteniéndose una media general del experimento de 11.57 (Anexo G).

De acuerdo al Instituto Universitario Juan de Castellanos (1998, 247), una relación C/N ideal debe ser de 10 y teniendo en cuenta que esta relación es uno de los factores que afecta la rata de descomposición de la materia orgánica, se puede decir que la relación C/N obtenida a partir del contenido de materia orgánica manifestado por los suelos del presente estudio, promueve una buena descomposición ya que si se toma el valor de la media general del experimento que fue de 11.57, este es cercano a 10. Además hay que tener en cuenta que el

Figura 10. Comportamiento de la materia orgánica entre tratamientos y localidades.



contenido de materia orgánica manifestado por estos suelos según la media general del experimento fue del 5.33% considerado como medio para suelos de clima frío (ICA, 1992 citado por el Instituto Universitario Juan de Castellanos, 1998, 253), evidenciando así la descomposición experimentada por los residuos incorporados por medio de los diferentes tratamientos.

3.4.2 Comparación entre localidades. La relación C/N entre localidades presentó diferencias estadísticas, con un valor de 11.63 para la localidad 1 y 11.51 para la localidad 2 (Anexo G); esto posiblemente debido a que el nitrógeno total aportado por la materia orgánica en el suelo de la localidad 1 fue un tanto menor al nitrógeno total aportado por la materia orgánica en el suelo de la localidad 2, con lo cual la relación C/N exhibida por el suelo fue mayor en la localidad 1 en comparación con la localidad 2 (Figura 10). Aunque los dos valores obtenidos, por ser cercanos a 10, propuesto como una relación C/N ideal por el Instituto Universitario Juan de Castellanos (1998, 247), promueven una buena descomposición de los residuos incorporados.

3.5 COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE AVENA

3.5.1 Población de plantas de avena

3.5.1.1 Comparación entre tratamientos. Con respecto a la población de plantas de avena / m², el análisis estadístico mostró diferencias significativas entre tratamientos (Anexo H).

El tratamiento T2 presentó la mayor población de plantas, obteniéndose 75 plantas/ m² seguido por los tratamientos T1 y T3 en su orden, que presentaron una población de 59.83 y 49.50 plantas/ m² respectivamente. Es importante destacar la mayor población de plantas por m² obtenida en el tratamiento T2, que teniendo en cuenta la población obtenida en el testigo esta se ve superada en 35.83 plantas/ m².

Es posible que la incorporación de residuos vegetales hayan producido el aumento en la población de plantas en los tratamientos que se efectuó esta práctica, por incrementar el contenido de materia orgánica en el suelo, teniendo en cuenta que se brinda mejores condiciones a la semilla para su germinación, como es el aumento en la aireación al incrementarse el porcentaje de porosidad total del suelo, la reducción en la resistencia a la penetración, factor que se corrobora si se observa los valores de penetrabilidad obtenidos para tratamientos, lo cual facilita el normal desarrollo y exploración del suelo por parte de las raíces (Figura 4); además el incremento en contenido de materia orgánica, contribuye con la respiración en los procesos germinativos de la semilla, como lo señala Burbano (1989, 319).

3.5.1.2 Comparación entre localidades. El análisis estadístico para población de plantas mostró diferencias altamente significativas (Anexo H), presentando un mayor número de plantas/ m² en la localidad 1 con un valor en la media de 60.83 plantas/m² y superando a la localidad 2 en 9.91 plantas/ m². Esta diferencia manifestada entre localidades pudo haber estado influenciada por los contenidos de humedad del suelo, ya que este es uno de los factores necesarios para la germinación de la semilla, definiendo así la población de plantas. Si se tiene en cuenta los valores obtenidos en el porcentaje de humedad volumétrica se puede ver que la localidad 1 es la que mostró el mayor porcentaje de humedad y por ende fue la que presentó una mayor población de plantas, al obtenerse una mayor germinación de sus semillas.

La característica pedregosa del suelo de la localidad 2, pudo haber presentado dificultad a las semillas para su normal germinación y ser esta otra causa de la menor población obtenida en esta localidad.

3.5.2 Número de tallos por planta

3.5.2.1 Comparación entre tratamientos. El análisis estadístico obtuvo diferencias significativas entre tratamientos para el número de tallos por planta (Anexo H). El tratamiento T2 con un valor promedio de 4.33 tallos por planta, fue el que supero a los demás seguido en su orden por el tratamiento T1 con un valor promedio de 3.40 tallos por planta. Al corroborar con el valor obtenido por el

testigo T4 se puede ver el efecto positivo ejercido por las practicas de zanjas fértiles y abono verde en el incremento del numero de tallos por planta; además de los otros parámetros de rendimiento y producción evaluados en avena forrajera.

Con la incorporación de material orgánico por medio de zanjas fértiles se pretendió aumentar los contenidos de materia orgánica y mejorar las condiciones físicas del suelo incrementando la actividad descomponedora de los microorganismos por medio de caldo microbial.

El incremento en el contenido de materia orgánica que se obtuvo con la aplicación de estos tratamientos puede ser una de las condiciones que haya contribuido a aportar los beneficios para el rendimiento en numero de tallos por planta y producción de biomasa de la avena forrajera, ya que la materia orgánica además de aportar nitrógeno al suelo contribuye a mejorar las propiedades físicas del mismo (Amézquita 2001, 17). Mejoramiento que se dio en el presente trabajo con la disminución de la resistencia a la penetración, disminución en la densidad aparente e incremento de la porosidad total.

3.5.2.2 Comparación entre localidades. El número de tallos por planta mostró diferencias significativas entre localidades (Anexo H), la localidad 1 se vio superada por la localidad 2 presentando esta ultima un valor de 3.22 tallos por planta, comportamiento similar se presento para otras variables de rendimiento y producción de biomasa de avena, que posiblemente fue debido a la característica

de suelo suelto que presenta la localidad 2, favoreciendo el desarrollo radicular, que permite aprovechar mejor los nutrientes por parte de la planta, incrementando el número de tallos. Además esta característica de suelo suelto de la localidad 2 sumado con las prácticas de zanjas fértiles pueden haber facilitado el mejoramiento de las condiciones físicas que son necesarias para el buen desarrollo de las plantas, como es la porosidad total y penetrabilidad, al haberse incrementado el contenido de materia orgánica que también es una fuente de nitrógeno indispensable para la producción del número de tallos por planta.

3.5.3 Longitud y Peso Aéreo y de Raíz. En el Anexo I, se muestra los valores de longitud y peso tanto aéreo como de raíz para plantas de Avena obtenidos en el presente estudio.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas en estos parámetros, obteniéndose los mayores valores en el tratamiento T2 seguido en su orden por el tratamiento T1 y T3.

Para longitud y peso aéreo los tratamientos T1 y T2 mostraron un comportamiento estadísticamente igual, aunque el tratamiento T2 superó al tratamiento T1; por otra parte para longitud y peso de raíz los tratamientos T1 y T2 fueron estadísticamente diferentes, siendo el tratamiento T2 el que superó al tratamiento T1. Al igual que en producción de biomasa, población de plantas y número de tallos por planta, este parámetro evaluado de longitud y peso, coincide

en que se vio favorecido por efecto de la practica de zanjas fértiles y abono verde y siendo el tratamiento T2 el que obtuvo los mayores valores en todos estos parámetros, posiblemente por haberse incrementado el contenido de materia orgánica, manifestándose beneficios en las propiedades físicas del suelo al reducirse la resistencia a la penetración y la densidad aparente, e incrementándose el porcentaje de porosidad total del suelo que se refleja en el crecimiento de las plantas.

Sañudo Checa y Arteaga (2001, 29), manifiestan que es factible restituir parcialmente la capacidad productiva de suelos en los cuales la capa superficial es muy delegada o hay afloramiento de subsuelo compactado siendo abandonados para labores agropecuarias, mediante la practica mecánica-orgánica-microbial denominada “zanjas de alta fertilidad”.

Esto lo podemos corroborar con los resultados obtenidos en el presente trabajo, ya que si se observa los valores en los Anexos H – I, los tratamientos T1 Y T2 en los cuales se practico el método de zanjas fértiles, presentaron los valores más altos en cuanto a longitud y peso tanto aéreo como de raíz, reflejándose en producción de biomasa y número de tallos por planta.

En un trabajo llevado a cabo en el municipio de Valledupar, departamento del Cesar por García, Aarón, Maestre y Blanco (2000, 89), sobre un suelo tradicionalmente algodouero, se encontró un aumento en el crecimiento de plantas

de algodón del 21% (76 a 92cm) después de haber realizado un tratamiento al suelo que consistió en aplicar labranza profunda mas la incorporación de Crotalaria juncea como abono verde mas estiércol (bobinaza), situación que se puede corroborar con los resultados obtenidos en el presente estudio al haber utilizado las practicas de zanjas fértiles y abono verde ya que si se compara el valor para longitud aérea obtenido en el testigo, con el valor mas alto, obtenido en el tratamiento T2 y se lo lleva a porcentaje, se puede ver que el incremento en el crecimiento de plantas de avena forrajera fue del 56.74% (91.26 a 143.05 cm).

En el Anexo I se puede ver que para localidades no se presentaron diferencias significativas para peso de raíz; diferencias que si manifestaron la longitud tanto aérea como de raíz y el peso aéreo, siendo la localidad 2 la que presentó los valores mas altos; esto debido posiblemente a la característica de suelo suelto de la localidad 2 que sumado con las practicas de zanjas fértiles y abono verde, contribuyeron a facilitar el desarrollo radicular y por ende a favorecer el desarrollo y peso aéreo de las plantas de avena, por el mejoramiento en las propiedades físicas conseguido con el incremento de la materia orgánica en el suelo.

Wild (1992, 520), sostiene que el suelo influye en la planta a través de su sistema radical cuyo crecimiento esta determinado por los siguientes factores edáficos: contenido de humedad, sistema poroso, resistencia al esfuerzo y compresibilidad, además de la disponibilidad de nutrientes. Los factores mencionados los cuales actúan en forma interrelacionada unos con otros, determinan que el suelo sea un

medio apto o no para la germinación de las plantas de manera que por ejemplo al compactar un suelo se puede no solo, reducir el tamaño medio de los poros sino también cambiar la aireación y estado hídrico del suelo. Así las practicas denominadas zanjias fértiles y abono verde actuaron como un factor positivo para el desarrollo de plantas de avena forrajera en el presente estudio, mejorando los factores edáficos que determinan el crecimiento de las raíces y por ende el desarrollo aéreo.

3.5.4 Producción de biomasa

3.5.4.1 Comparación entre tratamientos. La producción de biomasa de avena forrajera mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos (Anexo J). Producción que se vio favorecida por las practicas de incorporación de materiales orgánicos y es así como en el tratamiento T2 se obtuvo la mayor producción de biomasa que fue de 50.20 toneladas por hectárea, seguida por la producción del tratamiento T1 que fue de 40.15 toneladas por hectárea (Figura 11).

El tratamiento T3 no presentó diferencias estadísticas en producción de biomasa con respecto al testigo T4, pero lo supero en 6.68 toneladas por hectárea (Anexo J).

De acuerdo a lo anterior podemos afirmar que es posible que las practicas de zanjias fértiles mas siembra de abono verde llevadas acabo en el tratamiento T2

brindaron al suelo condiciones que favorecen la producción de biomasa de avena forrajera. De igual manera no se desconocen el efecto del tratamiento T1 en la utilización de zanjas fértiles sin la siembra de abono verde, como mejorador de las condiciones edáficas necesarias para una buena producción de biomasa, teniendo en cuenta que la producción obtenida en este tratamiento supera ampliamente a la producción obtenida en el testigo T4, esto como resultado del incremento en el contenido de materia orgánica en el suelo, que además del aporte de nitrógeno, redujo la resistencia a la penetración como la densidad aparente aumentando a la vez el porcentaje de poros del suelo .

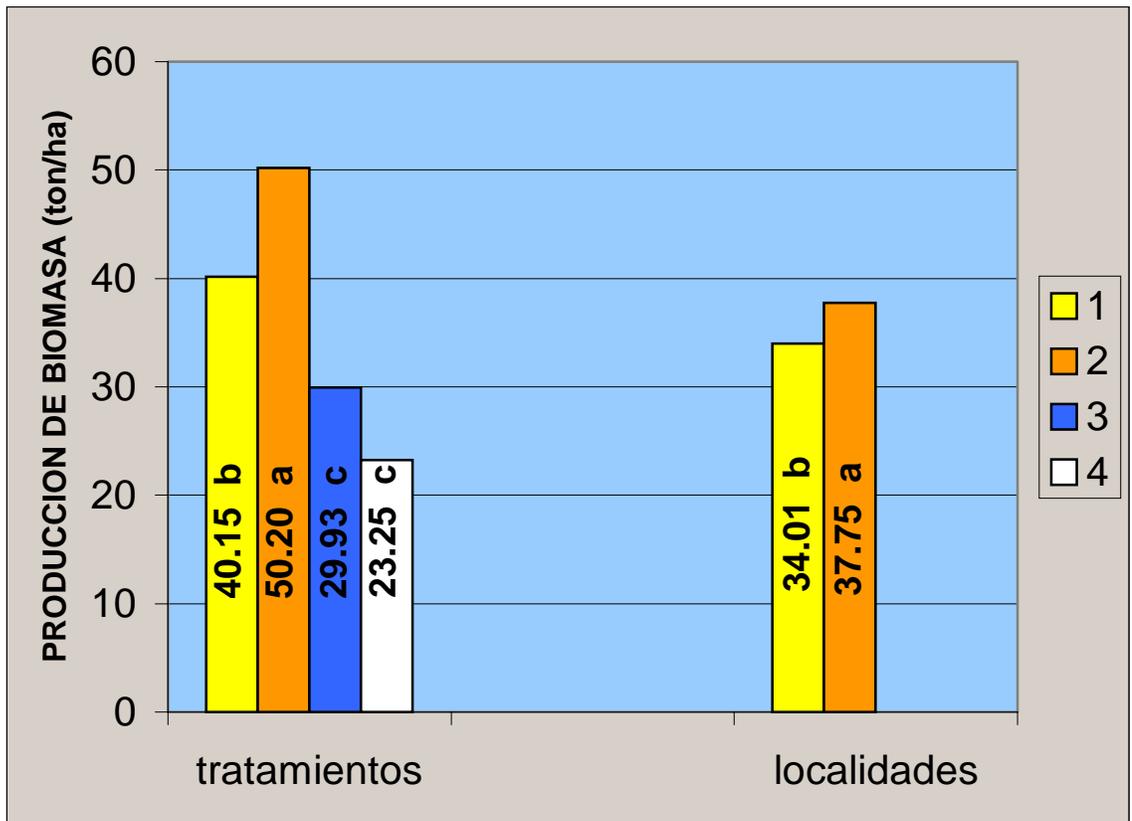
García, Aarón, Maestre y Blanco (2000, 89), obtuvieron incrementos en producción de algodón del 39% (930 a 1031 kg/ha) con la aplicación de labranza profunda mas abono verde mas estiércol al suelo en el municipio de Valledupar departamento del Cesar; resultado que se puede corroborar con el incremento en la producción de biomasa de avena forrajera obtenida en el presente estudio que fue del 53.68% (23.25 a 50.20 ton/ha)

3.5.4.2 Comparación entre localidades. La producción de biomasa de avena forrajera evaluada en las dos localidades mostró diferencias significativas(Anexo J), presentándose en la localidad 2 la producción mas alta con 37.75 ton/ha, en comparación con la localidad 1 en la cual se obtuvo una producción de 34.01 ton/ha (Figura 11).

La localidad 2 supero a la localidad 1 en producción de biomasa de avena en 3.74 ton/ha, situación que posiblemente se deba a un mayor efecto de las practicas de zanjias fértiles y abono verde sobre las condiciones edáficas por medio de los diferentes tratamientos en la localidad 2, facilitando el desarrollo radicular exploratorio de la avena viéndose traducido en producción de biomasa.

Posiblemente el mayor efecto de las practicas de zanjias fértiles y abono verde sobre las condiciones edáficas de la localidad 2 puedan ser atribuidas a las características del suelo con presencia de materiales sueltos que facilitaron el mejoramiento de las condiciones físicas.

Figura 11. Comportamiento de la producción de biomasa de avena forrajera entre tratamientos y localidades.



4. CONCLUSIONES

4.1 Los tratamientos T1 (zanjas fértiles - avena), T2 (zanjas fértiles – abono verde - avena) y T3 (abono verde - avena), contribuyeron a incrementar el contenido de materia orgánica del suelo manifestando porcentajes de 5.78%, 6.59% y 5.62% respectivamente con relación al testigo absoluto T5, que manifestó un porcentaje de 4.07%, debido a los procesos de descomposición en condiciones aeróbicas de los residuos incorporados mediante las practicas de zanjias fértiles y abono verde.

4.2 El incremento en el contenido de materia orgánica alcanzado con los tratamientos T1 (zanjas fértiles - avena), T2 (zanjas fértiles – abono verde - avena) y T3 (abono verde - avena), disminuyo la resistencia a la penetración de 3.85 Mpa. a 2.68 Mpa. y densidad aparente de 1.04 g/cc a 0.99g/cc respecto al testigo absoluto T5, al verse aumentada también la porosidad total del suelo de 59.76% a 61.42%.

4.3 El tratamiento con zanjias fértiles y abono verde produjo un efecto mayor sobre las condiciones físicas del suelo al disminuir la resistencia a la penetración , la densidad aparente y aumentar la porosidad total, además del contenido de materia orgánica, sin embargo no se pude desconocer el efecto sobre el suelo

producido por los tratamientos T1 (zanjas fértiles - avena) y T3 (abono verde - avena), que en su orden siguieron al T2 (zanjas fértiles – abono verde - avena).

4.4 Las características de crecimiento y producción en avena fueron mayores en el tratamiento con zanjas fértiles y abono verde por el efecto positivo que se brindó al suelo mejorando las condiciones físicas que favorecen el desarrollo de las plantas.

5. RECOMENDACIONES

5.1 Realizar estudios tendientes a evaluar el efecto de las practicas de zanjas fértiles y abono verde sobre las propiedades químicas del suelo.

5.2 Evaluar el efecto de las practicas de zanjas fértiles y abono verde sobre componententes de rendimiento y producción de diferentes cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA SOLIS, Misael. La tierra agrícola: nuestro recurso básico. Quito, Ecuador: Publicaciones científicas MAS, 1986. 218 p.

ALVARADO, Fernando y WINER, Hugo. Ofertas agroecológicas para pequeños agricultores. Doce experiencias exitosas de agricultura ecológica. Centro IDEAS. 1998 p. 43-55

AMEZQUITA, Edgar.; FRIENSEN, D. y SANZ, J.I. Indicadores de sostenibilidad : Parámetros edafoclimáticos y diagnóstico del perfil cultural. En : GUIMARAES, E.P.; et al. (eds). Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina. Cali : Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA), publicación CIAT ; No. 313, 1999. 313 p.

----- . Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. En : Manejo Productivo de Suelos Para Cultivos de Alto Rendimiento. Palmira: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo comité regional del Valle del Cauca. Editores Alvaro García e Ivonne G. Venezuela B, Septiembre 2001. 213 p.

ANDREUX, Francis. La materia orgánica del suelo. IGAC (Colombia) vol. 10, No. 11 (1974); p. 201 – 253.

----- . Evolución de la materia orgánica en andosoles. En : Suelos Ecuatoriales. revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. vol. 13, No.1 (1983); p. 117 – 124.

BARROW, C.J. Land degradation : Development and breakdown of terrestrial environments. London : Cambridge University Press. 1994. 295p.

BAVER, . et al. Física de suelos. México : Hispanoamericana, 1973. 529 p.

BLAIKIE, P. and BROOKFIELD, H. Land degradation and society. London : Methuen. 1987. 296 p.

BORRERO, M.N. Suelos. Bogotá: Universidad Santo Tomás, Centro de Enseñanza Desescolarizada, 1987. 103 p.

BURBANO ORJUELA, Hernan. El suelo una visión sobre sus componentes bioorgánicos. Pasto (Colombia): Universidad de Nariño, 1989. 447 p.

----- . Microbiología del suelo y materia orgánica. Pasto (Colombia): Universidad de Nariño, Facultad de ciencias agrícolas, 1974. 63 p.

BURES, Silvia. Materia Orgánica En: Terralia No. 8 www.terralia.com ediciones agrotécnicas, S.A. Madrid (2000); p. 13-20

CAMINO V, R. de. Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales : Bases para establecer indicadores. San José de Costa Rica : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)/ Proyecto IICA/GTZ. 1993. 134 p (Serie de Documentos de Programas/IICA ; No. 38)

CASAS, Alberto. Efecto de la fertilización en dos abonos verdes y su incidencia en los suelos y en los rendimientos del cultivo siguiente. En : Suelos Ecuatoriales. Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. vol. 30, No.2 (2000). p. 117-124.

CASTRO, H.E. Producción sostenible de cultivos utilizando técnicas biológicas y conservacionistas “un modelo aplicable al trópico cálido colombiano”. En : Suelos Ecuatoriales. Revista de la sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. vol. 25, No. 1 (1995); p. 94 - 100.

CIFUENTES MINNIG, Diego. Preparación del suelo para labranza de conservación. En : Manejo Productivo de Suelos Para Cultivos de Alto Rendimiento. Palmira: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo comité regional del Valle del Cauca. Editores Álvaro García e Ivonne G. Venezuela B, (Septiembre 2001). 213 p.

CET Y CLADES. Manual de producción orgánica. Perú: 1998. p. 89-101

CLADES. Agroecología y desarrollo rural para campesinos y campesinas líderes. Curso en la modalidad de Educación a distancia. Modulo I. Perú : 1998. p. 29-43

CHISHOLM, A. y DUMSDAY, R. Land degradation problems and policies. Cambridge University Press. 1987.

DIAZ, M. Propiedades edáficas y sostenibilidad de los sistemas de producción en la región noroeste Bonaerense. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Centro Regional Buenos Aires Norte, Estación Experimental Agropecuaria Villegas. 1997. (Publicación Técnica ; No. 21)

DONAHUE, R.L.; MILLER, R.W.; SHICKLUNA, J.C. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Trad. del inglés por Peña, Jorge. Bogotá: Prentice/Hall Internacional, 1981. 624 p.

DURAN, J. Degradación y manejo ecológico de los suelos tropicales con énfasis en los de Cuba. En: Revista puntos alternos. Universidad de la Guajira, vol. 12, No. 3. 1998; p.16-28.

GARCIA, B. Manejo de suelos. Actualización técnica para la modernización del cultivo de trigo en el departamento de Nariño. Pasto (Colombia): 1994. p. 73-79.

-----, Joaquín. AARÓN, M., MAESTRE J.M. y BLANCO, J. Alternativas agronómicas para la recuperación de suelos algodoneros degradados en el Valle del Cesar. En: Suelos Ecuatoriales. Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencias del suelo, vol. 30, No.1 (Junio 2000). p. 86-92 109

-----, Joaquín. ; MONTES Misael y SAUMENTH Salvador. Alternativas sostenibles para el manejo de los suelos en los montes de Maria. www.pronata.gov.com.co/info_proyectos2. 1999. 15 p.

GREENLAND, D.J. and LAL, R. Soil physical conditions and crop production in the tropics. Chichester. 1979. 551 p.

GOMEZ ZAMBRANO, Jairo. Abonos orgánicos. Cali (Colombia): FERIVA S.A. 2000. 107 p.

GUERRERO HIDALGO, Olga y MUÑOZ FERNÁNDEZ Maria. Evaluación de abonos orgánicos en la producción de arveja (*Pisum sativum*, L.) en la zona cafetera de Piendamó, Cauca. Pasto, Colombia, 1994. 58 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

GUERRERO RIASCOS, Ricardo. Fertilización de cultivos de clima frío. Bogotá: MONOMEROS COLOMBOVENEZOLANOS S.A., 1998. 425 p.

GUIMARAES, E.P. et al. Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA), 1999. 313 p. (Publicación CIAT; No. 313)

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). Propiedades físicas de los suelos. Bogotá: Subdirección Agrológica. 1990. 813 p.

INSTITUTO UNIVERSITARIO JUAN DE CASTELLANOS. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Manual Técnico. Tunja: 1998. 351 p.

KONONOVA, M. Materia orgánica del suelo. Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Trad. del ruso por Bordas de Mutan, Enriqueta. Barcelona: Oikos - Teau S.A., 1982, 382 p.

LAL, R. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. Washington : Soil Management Support Services (SMSS). 1994. (Technical Monograph ; No. 21)

LOPEZ, A Compactación por ganadería intensiva en algunos suelos del Caquetá. En : Suelos Ecuatoriales. Revista de la Sociedad colombiana de la Ciencia del Suelo, vol. 21, No. 1 (1997) p. 104 – 110.

MERCHANCANO, José y GOMEZ, Rafael. Efecto de la aplicación de estiércol y N,P,K en la producción de papa (*Solanum tuberosum L.*) y en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo del altiplano de Pasto. Pasto, Colombia, 1984. 156 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.

MORALES, C. y GARCÍA, A. Disponibilidad del hierro influenciada por la aplicación de ácidos húmicos extraídos de cachaza. En: Suelos ecuatoriales. Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo. vol. 25 No. 1 (1995); p. 27 - 31.

PORTA, J; LÓPEZ, M. y ROQUERO, C. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: Mundi – prensa, 1994. 807 p.

PROTERRA. Abonos verdes. Chile: www.abcagro.com/fertilizantes/abonos-verdes.asp. 2002. p. 3-5.

RUIZ, Hugo. Efecto de cuatro sistemas de labranza en el mejoramiento de algunas propiedades físicas de un Vertisol cultivado intensivamente en el Valle geográfico del río Cauca. Palmira, Colombia, 1999. Tesis (MSc. Suelos). Universidad Nacional de Colombia.

SALAMANCA, Alveiro. Influencia de las características físicas del suelo y de su interacción con las condiciones climáticas en el comportamiento y calidad *Desmodium heterocarpon* subsp. *Ovalifolium* (oashi) en tres regiones de Colombia. Palmira, Colombia, 2000. 173 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

SAÑUDO, Benjamín; CHECA CORAL, Oscar y ARTEAGA, Germán. Perspectivas para el desarrollo agrícola de la zona triguera de Nariño. Pasto – Colombia CORPOTRIGO, UDENAR, UNIGRAF, 2001. 214 p.

SAAVEDRA, S. et al Evaluación de la CDS del informe nacional de Colombia. Colombia, CIPE, Universidad Externado de Colombia, 1995. 423 p.

STOKING, M. Erosion and soil productivity : a review. Consulans' working paper No. 1 AGLS, FAO, ROMA, 1984. 102p.

SUAREZ DE CASTRO, Fernando; RODRIGUEZ, A. Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Bogotá (Colombia), Salvat, 1962. 473 p.

TIMBERLAKE, L. Sustained hope for development. In : New Scientist. Vol. 119, No. 1620 (1988) ; p. 60 – 63.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of soil sciences* 33, 1982. p.141 - 163.

WILD, A. *Condiciones de suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Madrid : Ediciones Mundi- Prensa. 1992. 1045 p.

ANEXOS

Anexo A. Prueba de Tukey para la resistencia a la penetración en Mpa, con valores medios entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades.

TRATAMIENTOS	SIGNIFICANCIA
T1	2.68 b
T2	2.74 b
T3	3.53 a
T4	3.87 a
T5	3.85 a
PROFUNDIDADES	
1	2.57 b
2	3.58 a
3	3.85 a
ÉPOCAS	
1	3.24 b
2	3.66 a
3	3.10 b
LOCALIDADES	
1	3.33 a
2	3.34 a

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ($p < 0.05$)

Anexo B. Prueba de Tukey para densidad aparente en g/cc, con valores medios entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades.

TRATAMIENTOS	SIGNIFICANCIA
T1	0.99 d
T2	1.00 dc
T3	1.02 bc
T4	1.05 b
T5	1.04 a
PROFUNDIDADES	
1	0.99 c
2	1.02 b
3	1.05 a
ÉPOCAS	
1	1.07 a
2	1.07 a
3	0.91 b
LOCALIDADES	
1	1.00 b
2	1.04 a

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ($p < 0.05$)

Anexo C. Prueba de Tukey para la densidad real en g/cc con valores medios entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades.

TRATAMIENTOS	SIGNIFICANCIA
T1	2.56 b
T2	2.58 b
T3	2.60 ba
T4	2.64 a
T5	2.57 b
PROFUNDIDADES	
1	2.55 c
2	2.58 b
3	2.64 a
ÉPOCAS	
1	2.63 a
2	2.60 a
3	2.54 b
LOCALIDADES	
1	2.61 a
2	2.57 b

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ($p < 0.05$)

Anexo D. Prueba de Tukey para porosidad total en porcentaje con valores medios entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades.

TRATAMIENTOS	SIGNIFICANCIA
T1	61.42 a
T2	61.18 ab
T3	60.42 ab
T4	60.07 ab
T5	59.76 b
PROFUNDIDADES	
1	60.71 a
2	60.81 a
3	60.18 a
ÉPOCAS	
1	59.05 b
2	58.54 b
3	64.12 a
LOCALIDADES	
1	61.75 a
2	59.39 b

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ($p < 0.05$)

Anexo E. Prueba de Tukey para distribución de poros en porcentaje con valores medios entre tratamientos y localidades.

TRATAMIENTOS	SIGNIFICANCIA		
	% MACROPOROS	%MESOPOROS	%MICROPOROS
T1	25.52 a	9.32 a	28.57 a
T2	25.38 a	10.22 a	30.52 a
T3	23.50 a	8.63 a b	27.43 a b
T4	23.77 a	7.60 b c	26.17 a b
T5	23.40 a	6.93 c	22.95 b
LOCALIDADES			
1	24.23 a	5.22 b	30.78 a
2	24.40 a	11.86 a	23.47 b
MEDIA GENERAL	24.31	8.54	27.13

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (p<0.05)

Anexo F. Prueba de Tukey para humedad volumétrica en porcentaje con valores medios entre tratamientos, profundidades, épocas y localidades.

TRATAMIENTOS	SIGNIFICANCIA
T1	24.05 c
T2	26.69 ab
T3	25.61 bc
T4	27.85 a
T5	27.26 ab
PROFUNDIDADES	
1	24.26 c
2	26.59 b
3	28.03 a
ÉPOCAS	
1	32.98 a
2	17.68 c
3	28.22 b
LOCALIDADES	
1	27.83 a
2	24.76 b

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ($p < 0.05$)

Anexo G. Prueba de Tukey para materia orgánica y relación C/N en porcentaje con valores medios entre tratamientos y localidades.

TRATAMIENTOS	SIGNIFICANCIA	
	% MATERIA ORGÁNICA	RELACIÓN C/N
T1	5.78 a	11.61 a
T2	6.59 a	11.65 a
T3	5.62 a b	11.59 a
T4	4.58 b c	11.52 a
T5	4.07 c	11.48 a
LOCALIDAD		
1	6.33 a	11.63 a
2	4.33 b	11.51 b
MEDIA GENERAL	5.33	11.57

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ($p < 0.05$)

Anexo H. Prueba de Tukey para población de plantas por m² y número de tallos por plantas de avena con valores medios entre tratamientos y localidades.

TRATAMIENTOS	SIGNIFICANCIA	
	POBLACION DE PLANTAS /m ²	No. DE TALLOS / PLANTA
T1	59.83 b	3.40 b
T2	75.00 a	4.33 a
T3	49.50 c	3.13 bc
T4	39.17 d	2.80 c
LOCALIDAD		
1	60.83 a	3.62 a
2	50.92 b	3.22 b

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (p<0.05)

Anexo I. Prueba de Tukey para longitud y peso tanto aéreo como de raíz en plantas de avena, con valores medios entre tratamientos y localidades.

	SIGNIFICANCIA			
TRATAMIENTOS	LONG. AEREA.	PESO AÉREO	LONG.	PESO RAÍZ
	(cm)	(g.)	RAIZ (cm)	(g.)
T1	129.00 a	117.28 a	18.60 b	12.95 b
T2	143.05 a	127.50 a	22.98 a	17.18 a
T3	107.23 b	90.25 b	17.63 b	10.63 c
T4	91.26 c	69.63 c	12.78 c	9.25 c
LOCALIDAD				
1	114.99 b	99.24 b	16.97 b	12.59 a
2	120.28 a	103.09 a	19.02 a	12.41 a

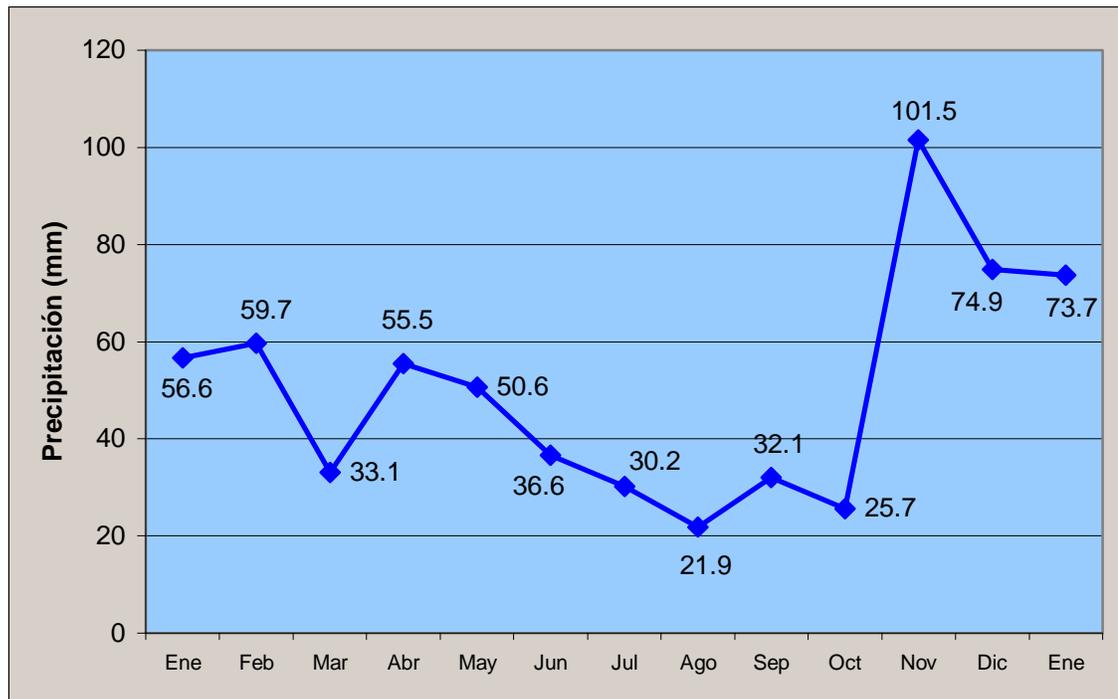
Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ($p < 0.05$)

**Anexo J. Prueba de Tukey para producción de biomasa de avena en ton/ha,
con valores medios entre tratamientos**

TRATAMIENTOS	SIGNIFICANCIA
	BIOMASA ton/ha.
T1	40.15 b
T2	50.20 a
T3	29.93 c
T4	23.25 c
LOCALIDAD	
1	34.01 b
2	37.75 a

Valores promedios seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa
($p < 0.05$)

Anexo K. Datos promedio de precipitación para los meses entre enero del 2001 a enero del 2002 en el corregimiento de Mapachico.



Fuente : IGAC 2001 - 2002