

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN
CULTIVOS DE GRANADILLA (*Pasiflora ligularis*), EL SISTEMA FRÍJOL
VOLUBLE (*Phaseolus vulgaris L*) RELEVO MAÍZ (*Zea mays*), SISTEMAS DE
PASTOREO Y BOSQUES SECUNDARIOS UBICADOS EN LA VEREDA
BELLAVISTA DEL MUNICIPIO DE SIBUNDOY DEPARTAMENTO DEL
PUTUMAYO.**

**JULIANA MARILEN REVELO ESPAÑA
OSCAR ARMANDO GUERRERO ANDRADE
CRISTHIAN JOAN LASSO INSUASTY**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL PUTUMAYO
FACULTAD DE INGENIERÍA
SANEAMIENTO AMBIENTAL
SIBUNDOY PUTUMAYO
2016**

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN CULTIVOS DE GRANADILLA (*Pasiflora ligularis*), EL SISTEMA FRÍJOL VOLUBLE (*Phaseolus vulgaris L*) RELEVO MAÍZ (*Zea mays*), SISTEMAS DE PASTOREO Y BOSQUES SECUNDARIOS UBICADOS EN LA VEREDA BELLAVISTA DEL MUNICIPIO DE SIBUNDOY DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO.

**JULIANA MARILEN REVELO ESPAÑA
OSCAR ARMANDO GUERRERO ANDRADE
CRISTHIAN JOAN LASSO INSUASTY**

Trabajo de grado, modalidad Semillero de Investigación presentado para optar el Título de Tecnólogo en Saneamiento Ambiental

**Asesora:
ADRIANA DEL SOCORRO GUERRA ACOSTA I.A. Esp. M.Sc**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL PUTUMAYO
FACULTAD DE INGENIERÍA
SANEAMIENTO AMBIENTAL
SIBUNDOY PUTUMAYO
2016**

NOTA

“Los conceptos, afirmaciones y opiniones contenidas en el presente trabajo son responsabilidad única y exclusiva de sus autores, y no comprometen al Instituto Tecnológico del Putumayo”. (CIECYT)

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado 1

Jurado 2

Jurado 3

Adriana del socorro Guerra Acosta I.A. Esp. M.Sc
Asesora.

Sibundoy Putumayo, Noviembre de 2016.

DEDICATORIA

A Dios por regalarme la vida, quien supo guiarme por el buen camino y darme fortaleza para continuar luchando por alcanzar mis sueños y llegar a esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres María Eugenia y Héctor Anibal, por estar siempre a mi lado brindándome su amor, y quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en los momentos difíciles, ser el motor que impulsa mi vida y quienes día a día me dan una razón para seguir adelante, para ellos de corazón toda mi gratitud Los amo con mi vida

A mi Tío Hugo España quien deposito su confianza en mis capacidades y brindarme su valiosa ayuda para poder llegar a esta meta.

A mis ángeles que me cuidan y guían desde el cielo en especial a mi hijo Dylan Gabriel Ipiales Revelo y mi amigo Johnny Bravo para ustedes este logro.

A mi hermana Silvana por ser el ejemplo de una hermana mayor y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles; a mis hermanos y sobrinos parte fundamental de mi vida.

A mis compañeros y más que eso amigos Oscar Guerrero y Cristian Lasso por mantenernos siempre unidos apoyándonos mutuamente en nuestra formación profesional compartiendo momentos de alegría y tristeza gracias por nunca dejarme caer y ser mi compañía en este camino porque en esta armonía grupal lo hemos logrado.

A la magister Adriana Guerra Acosta, por compartir sus conocimientos conmigo a lo largo de estos años de formación enseñarme a ser una persona responsable para exigirme a mí misma y dar lo mejor en mi carrera. En especial por brindarme sus concejos y enseñanzas de vida y ser la promotora de este proyecto para poder terminarlo con éxito.

*A docentes y compañeros con los que compartí experiencias y momentos y que de alguna manera participaron en la elaboración de esta tesis
¡Gracias a ustedes ¡*

Juliana Marylen Revelo España

DEDICATORIA

A Dios por regalarme la vida, brindarme fortaleza y perseverancia para alcanzar mis sueños, por concederme la fe y el valor para luchar por mis ideales y lograr este propósito.

A mis padres Fanny Insuasty Y Jairo Lasso, por ser mi apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado brindándome lo mejor de sí, y por ser ese ejemplo de perseverancia y dedicación. Gracias porque de ustedes aprendo el verdadero significado de la vida, y eso hace que cada día sea más interesante.

A mis hermanos, abuelitos y demás familiares por enseñarme el verdadero significado de la familia, a pensar siempre en el mejor futuro, para hacer realidad todos nuestros sueños propuestos.

A Juliana Revelo Y Oscar Guerrero por su compromiso y responsabilidad en todas las actividades propuestas, por su alegría, ocurrencias y buen humor a pesar de las diferentes dificultades y adversidades presentadas.

A la magister Adriana Guerra Acosta, por todos y cada uno de sus conocimientos brindados, por convertirse en un apoyo y por estar siempre presta a todo aquello que necesitábamos y por último por confiar en nosotros y en nuestras capacidades, gracias porque más que un guía fue una amiga.

A los docentes en especial (Mirna, Chuchito y Ruperto), compañeros y amigos (David Velázquez) que en mi formación han contribuido, siendo portadores de conocimientos y fomentadores de inspiración.

Cristhian Joan Lasso Insuasty

DEDICATORIA

*A Dios, Por darme la vida, salud, fortaleza y capacidad
Para escoger los buenos caminos, cuidándome y
Guiándome a lograr mis metas y objetivos
En mi formación como profesional.*

*A mis padres, Por ser las personas que más me han apoyado a salir adelante
Que con su esfuerzo y dedicación me enseñaron a ser una persona
Integra, amable, creativa, sonriente de la vida
Demostrándome siempre su cariño y comprensión,
Sin importar nuestras diferencias de opiniones.*

*A mis hermanas, Por acompañarme, en los momentos adversos de mi vida
Al estar siempre a mi lado en los momentos felices y tristes
Riéndonos y en nuestras penas llorando, mis guías,
Confidentes, guardaespaldas y compañeras.*

*A mi esposa y mi hijo, Por ser mi inspiración, siendo ellos quien me dan la fuerza
Para luchar y salir adelante, el motor de mi vida
Apoyándome en mis decisiones y siempre estar ahí esperándome
Con los brazos abiertos y sonrientes siempre al llegar a casa.*

*A mis amigos, compañeros y docentes, En especial a Juliana Revelo,
Cristhian Lasso y David Velázquez
Por dedicarnos en el estudio para lograr nuestras metas,
Sueños y objetivos al trabajar en equipo, colaborándonos mutuamente
Y por tener esa calidad de amigos en mi vida.*

*A la Docente Adriana Guerra por su tiempo y dedicación
Y orientarnos en nuestra formación profesional sin ella
No fuera esto posible*

Gracias.

Oscar Armando Guerrero Andrade.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos por el apoyo en la planeación, formulación, ejecución y evaluación del trabajo de grado; a las siguientes personas e instituciones:

A la I.A. Esp. M.Sc. Adriana del Socorro Guerra Acosta, docente de la Facultad de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico del Putumayo; por brindar su confianza, asesoría y dedicación durante el proceso de investigación.

Al Dr Jorge Vélez Lozano docente asociado facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Nariño por haber facilitado la información y la ayuda necesaria para el proceso estadístico de la investigación.

A los habitantes y propietarios de los predios ubicados en la vereda Bella Vista del municipio de Sibundoy, por su tiempo y colaboración con el desarrollo del proceso.

Al Instituto Tecnológico del Putumayo sede Sibundoy, por facilitarnos los materiales y equipos del laboratorio.

Al I.A. M.Sc. Ph.D Marco Hugo Ruiz Erazo, docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño; por su aporte de conocimientos y apoyo en el desarrollo de los laboratorios de física de suelos.

Al I. Agroforestal Jhon Sarasty, profesional de laboratorio de física de suelos de la Universidad de Nariño.

A los docentes del Instituto Tecnológico del Putumayo de la sede Sibundoy por su compromiso con la formación integral que nos han brindado a lo largo de este tiempo.

A todas las personas que nos colaboraron con el apoyo logístico, para la realización del trabajo de campo.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	19
1. PROBLEMA.....	20
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	20
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	21
2. OBJETIVOS	22
2.1 OBJETIVO GENERAL	22
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
3. JUSTIFICACIÓN	23
3.1 IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO	24
4. HIPOTESIS	25
4.1 HIPOTESIS EXPERIMENTAL	25
4.2 HIPOTESIS ESTADISTICA.....	25
5. MARCO REFERENCIAL.....	26
5.1 MARCO TEÓRICO	26
5.1.1 Suelo.	26
5.1.2 Degradación de los suelos.	26
5.1.3 Indicadores de la calidad de los suelos.	27
5.1.4 Propiedades físicas de los suelos.....	28
5.1.5. Agricultura convencional.....	29
5.2 MARCO LEGAL	30
5.2.1 Constitución Política Nacional de Colombia 1991.....	30
5.2.2 Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Decreto 2811 de 1974, de la parte VII de la tierra y los suelos, título I del suelo agrícola	31
5.2.3 Capítulo III. Del uso y conservación de los suelos.	31
5.2.4 Sistema General Ambiental Ley 99 de 1993.....	31
5.2.5 La carta mundial de los suelos establecida por la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación hace mención a los siguientes principios:	31
5.2.6 El uso del suelo debe estar bajo los criterios que se mencionan en la Ley 388 de 1997	32
5.3 MARCO CONTEXTUAL.....	32
5.3.1 Departamento del Putumayo.....	32
5.3.2 Municipio de Sibundoy.....	33

5.3.3 Consociación Santiago (SP).....	33
5.3.4 Vereda Bellavista.	33
5.4. MARCO CONCEPTUAL.....	36
5.4.1 Suelo.	36
5.4.2 Suelo agrícola.....	36
5.4.3 Vegetación.	36
5.4.4 Bosque secundario.	36
5.4.5 Calidad de suelo.....	36
5.4.6 Compactación.	36
5.4.7 Degradación.....	36
5.4.8 Densidad Aparente.	37
5.4.9 Densidad real.	37
5.4.10 Erosión o degradación de los suelos.	37
5.4.11 Pendiente.....	37
5.4.12 Porosidad del suelo.	37
6. METODOLOGÍA.....	38
6.1 LOCALIZACIÓN	38
6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	39
6.3 VARIABLES A EVALUAR.	39
6.3.1 Propiedades físicas	39
6.3.2 Propiedades químicas.....	40
6.4 METODOLOGÍA DE CAMPO	40
6.4.1 TOMA DE MUESTRAS.....	40
6.4.2 RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN	42
6.5 METODOLOGIA DE LABORATORIO	43
6.5.1 Densidad Aparente	43
6.5.2 Densidad real.	44
6.5.3 Conductividad hidráulica	45
6.5.4 Estabilidad estructural con Shaker.	46
6.5.5 Determinación de pH.....	48
6.5.6 Materia orgánica	49
6.6 METODOLOGIA PARA PLANTEAR ALTERNATIVAS AMBIENTALES PARA EL MANEJO DEL SUELO.	50

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
7.1 Densidad aparente.	52
7.2 Densidad real.....	54
7.3 Porosidad.....	55
7.4 Humedad gravimétrica.	57
7.5 Humedad volumétrica.....	59
7.6 Estabilidad de agregados.....	60
7.7 Conductividad hidráulica.....	62
7.8 Resistencia a la penetrabilidad (RP).	63
7.9 pH.....	69
7.10 Materia Orgánica.....	71
7.11 ALTERNATIVAS DE MANEJO AMBIENTAL PARA LOS SUELOS DE LA ZONA DE ESTUDIO.	72
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFIA	78

LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Coordenadas de cada tratamiento y su repetición.	38
Tabla 2. Variables evaluadas y método de determinación.	39
Tabla 3. Variables evaluadas y método de determinación.	40
Tabla 4. Análisis de varianza para las variables físicas y química en suelos de la vereda Bella Vista en agricultura convencional, sistemas de pastoreo y bosques.....	52
Tabla 5. Calificación de la porosidad total del suelo.	57
Tabla 6. Calificación Diámetro Ponderado Medio.....	60
Tabla 7. Clasificación de la Conductividad Hidráulica.	62
Tabla 8. Interpretación de resistencia a la penetración (MPa).....	69
Tabla 9. Alternativas de manejo ambiental para la conservación de suelos.	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la vereda Bella vista en el municipio de Sibundoy departamento del Putumayo.....	34
Figura 2. Especiación de las unidades de suelo en el Valle de Sibundoy.	34
Figura 3. Localización del área de estudio.....	35
Figura 4. Cajuela de muestreo en campo.	41
Figura 5. Toma de muestras sin disturbar.	41
Figura 6. Medición de resistencia a la penetración con penetrógrafo.	43
Figura 7. Determinación de densidad aparente en el laboratorio.	43
Figura 8. Determinación de densidad real en laboratorio.	44
Figura 9. Permeámetro de cabeza constante.....	45
Figura 10. Determinación de conductividad hidráulica en laboratorio.	45
Figura 11. Shaker, equipo para evaluación de estabilidad estructural.....	47
Figura 12. Determinación de estabilidad estructural en laboratorio.....	47
Figura 13. Peachimetro.....	49
Figura 14. Determinación de pH en laboratorio.....	49
Figura 15. Muestra de suelo y adición de peróxido de Hidrogeno	50
Figura 16. Promedios de la densidad aparente en los tratamientos.	53
Figura 17. Promedios de la densidad real en los tratamientos.....	54
Figura 18. Promedios de porosidad en los tratamientos.	56
Figura 19. Promedio de humedad gravimétrica en los tratamientos.	58
Figura 20. Promedio de humedad volumétrica en los tratamientos.	59
Figura 21. Promedio estabilidad de agregados en los tratamientos.	61
Figura 22. Promedio conductividad hidráulica en los tratamientos.	63
Figura 23. Resistencia a la penetrabilidad en los bosques secundarios (T0).	64
Figura 24. Resistencia a la penetrabilidad en monocultivos de granadilla (T1).....	65
Figura 25. Resistencia a la penetrabilidad en monocultivos de frijol relevo maíz (T2).....	66
Figura 26. Resistencia a la penetrabilidad en sistemas de pastoreo (T3).	67
Figura 27. Promedios de pH por tratamientos.....	70

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Resultados pH, densidad aparente, densidad real, porosidad, humedad gravimétrica, humedad volumétrica en los diferentes tratamientos	85
1: Profundidad de 0 a 20 cm.....	85
2: Profundidad de 20 a 40 cm.....	88
Anexo B. Estabilidad estructural en los diferentes tratamientos	90
Anexo C. Conductividad hidráulica en los diferentes tratamientos.....	94
Anexo D. Resistencia a la penetración de los diferentes tratamientos	96
Anexo E. Materia orgánica en los diferentes tratamientos	100
Anexo F. Salidas estadísticas a las diferentes profundidades entre los diferentes tratamientos	101
1: Profundidad de 0 a 20 cm.....	101
2: Profundidad de 20 a 40 cm.....	103

RESUMEN DEL PROYECTO

En la vereda Bellavista del municipio de Sibundoy, departamento del Putumayo, se desarrolla con gran intensidad actividades agrícolas con prácticas convencionales entre ellas el empleo de insecticidas y fertilizantes químicos, riego con agua de mala calidad y ausencia de medidas contra la erosión. Como también se implementan sistemas de pastoreo tradicional sin ningún tipo de manejo. Sumado a las condiciones naturales, como las condiciones climáticas y fallas geológicas, hacen que las propiedades físicas y químicas presentes en los suelos se vean alterados y afectan su calidad.

Debido a esto se hizo necesario la realización de un estudio en donde se evaluó propiedades físicas como densidad aparente y real (g/cc), porosidad (%), humedad gravimétrica (%), humedad volumétrica (%) , resistencia a la penetración (Mp), estabilidad estructural en seco (DPM), conductividad hidráulica (cm/hora) y químicas como pH y contenido de materia orgánica del suelo en cultivos de granadilla, sistema frijol relevo maíz, sistemas de pastoreo, donde se determinó cual ha sido el efecto de las actividades antrópicas o humanas de agricultura y ganadería, comparando los resultados con los encontrados en los bosques secundarios.

En la zona de estudio se ubicó los tratamientos que son: boques secundarios (T0), monocultivos de granadilla (*Pasiflora ligularis*) (T1), sistema frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L) relevo maíz (*Zea mayz*) (T2) y sistemas de pastoreo (T3), el diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, en cada una de las unidades experimentales se realizó 3 cajuelas de forma aleatoria tomando muestras a profundidad de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm disturbadas y sin disturbar en anillos de acero de un volumen conocido.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en el cual se encontró diferencias significativas en algunos tratamientos, por tal razón se hizo necesario realizar una prueba de significancia de Tukey donde ($P < 0.05$).

Los análisis de varianza de algunas de las variables físicas evaluadas no presentaron diferencias significativas donde ($P > 0.05$) excepto para densidad real (g/cc) a profundidad de 0-20cm, densidad aparente (g/cc), porosidad (%) densidad real (g/cc) y pH a profundidad 20-40cm, resultó estadísticamente con diferencias significativas, porque ($P < 0,05$).

Los valores promedios de las variables físicas evaluadas fueron, densidad real el más alto en el T1 (granadilla) con 2,35g/cc y el más bajo para T2 (frijol relevo maíz) con 1,66 g/cc, densidad aparente el más alto T1 (granadilla) con 0,74 g/cc y el más bajo T3 (sistema de pastoreo) con 0,39g/cc. Porosidad más alto para T3 (sistema de pastoreo) con 75,93% y más bajo T2 (frijol relevo maíz) con 59,23%. Humedad gravimétrica T3 (sistema de pastoreo) con 183,79 % y más bajo T1 (granadilla) con

79,12%. Humedad volumétrica más baja fue en T0 (bosque secundario) con 53,99% y la más alta T3 (sistema de pastoreo) con 69,38%.

Para estabilidad de agregados el valor promedio más alto fue en el T3 (sistema de pastoreo) con 5,41 y el más bajo para T0 (bosque) con 2,57. Resistencia a la presentación el valor más alto para T3 (sistema de pastoreo) con 1,50 Mpa y el más bajo para T2 (frijol relevo maíz) y T1 (granadilla) con 1,19Mpa por igual.

En cuanto a las propiedades químicas evaluadas se logró establecer que los pH de los suelos presentaron diferencias estadísticas significativas en la profundidad 20-40 porque ($P < 0,05$), la clasificación en general de los tratamientos excepto el T1 (Granadilla) son moderadamente ácidos ya que se encuentran en un promedio de 5,44-5,82, para T1 de 20-40 cm de profundidad se presentó un pH clasificado como ligeramente ácido

La presencia de materia orgánica se presentó con una reacción fuerte en el T3 (Sistema de pastoreo) esto debido a la presencia de estiércol y una reacción ligera en el T0 (Bosques) por la presencia de microorganismos que mineralizan en menor tiempo la materia orgánica, por consiguiente los nutrientes son asimilados por las plantas y por este motivo no se encuentra en mayor cantidad en el bosque.

En términos generales los resultados mostraron que las variables tanto físicas como químicas evaluadas en los cuatro tratamientos no presentaron alteraciones por las actividades antropogénicas como la agricultura convencional y sistema de pastoreo, por lo anterior es necesario que se sigan realizando e implementando buenas prácticas agrícolas, entre ellas la más importante la incorporación de materia orgánica, barreras vivas entre otras, que mantengan las propiedades del suelo en óptimas condiciones.

Palabras claves: propiedades físicas de los suelos, penetrabilidad, conductividad hidráulica, estabilidad estructural

SUMMARY OF THE PROJECT

In the high part of the town of Sibundoy in the Department of Putumayo, more exactly in the village of Bellavista, develops with intensive agricultural and livestock activities, in addition to conventional practices and conditions natural, make that the physical properties and chemical present in soils will be altered and affected the quality of the soil.

Because of this it was necessary to conduct a study in where it was assessed physical properties such as bulk density and actual (g/cc), porosity (%), humidity gravimetrics (%), humidity volumetric (%) , resistance to penetration, structural stability in dry, hydraulic conductivity and chemical as pH and organic matter content of the soil in crops of granadilla, system beans over maize, grazing systems compared with secondary forests, was determined which has been the effect of conventional agriculture and grazing by comparing the results obtained with those found in the forest

In the study area was ranked the treatments that are: forests secondary (T0), monocultures of passion fruit (*Passiflora ligularis*) (T1), system beans fickle (*Phaseolus vulgaris* L) over maize (*Zea mayz*) (T2) and grazing systems (T3), the experimental design was randomized complete blocks with four treatments and three repetitions on each of the experimental units is carried out 3 cajuelas randomly taking samples to depth of 0 to 20 cm and 20 to 40 cm disturbed and without disturbing in steel rings of a known volumen.

There was a statistical analysis using the averages of each property evaluated, a significance test of Tukey where ($P > 0.05$).

The analysis of variance of some of the physical variables evaluated did not show significant differences where ($P > 0.05$) except for real density (g/cc) to depth of 0-20cm, apparent density (g/cc), porosity (%) real density (g/cc) and pH to depth 20-40cm, was statistically with significant differences, because ($P < 0.05$).

The mean values of the physical variables evaluated were: real density the highest in T1 (granadilla) with 2.35g/cc and the lowest for T2 (beans over maize) with 1.66 g/cc. Bulk density the highest T1 (granadilla) with 0.74 g/cc and the lowest T3 (grazing system) with 0.39g/cc. Porosity more high for T3 (grazing system) with 75,93% and more under T2 (beans over corn) with 59,23%. Moisture gravimetrically T3 (grazing system) with 183,79 % and more under T1 (granadilla) with 79,12%. Moisture volumetric lowest was in T0 (secondary forest) with 53,99% and the highest T3 (grazing system) with 69,38%.

For aggregate stability The average value was highest in the T3 (grazing system) with 5.41 and the lowest for T0 (forest) with 2.57. Resistance to the presentation the

highest value for T3 (grazing system) with 1.50 Mpa and the lowest for T2 (beans over maize) and T1 (granadilla) with 1.19Mpa alike.

In regard to the chemical properties evaluated, it was established that the pH of the soils presented statistically significant differences in the depth 20-40 because ($P > 0.05$), the classification in general of the treatments except the T1 (Granadilla) are moderately acidic since they are in an average of 5,44-5,82, for T1 20-40 cm depth was presented a pH classified as slightly acid.

The presence of organic matter was presented with a strong reaction in the T3 (grazing system) this is due to the presence of manure and the respective contribution that makes to the ground, and a reaction lightly in the T0 (forests) by the presence of microorganisms which mineralise in less time therefore nutrients are assimilated by plants and for this reason is not found in the largest quantity in the forest.

In general terms the results showed that the variables both physical and chemical evaluated in the four treatments do not presented alterations by anthropogenic activities as conventional agriculture and grazing system.

Key words: physical properties of soils, hydraulic conductivity penetrability, structural stability

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable que constituye la base funcional de todos los ecosistemas terrestres y además es el soporte físico de todas y cada una de las actividades humanas de desarrollo económico, de tal manera que la vida en el planeta está ligada, en gran medida, al correcto cumplimiento de las funciones productivas y ambientales (producción de biomasa -agrícola o no-, filtro regulador de fluidos, regulación del ciclo biogeoquímico de los elementos, etc.) del suelo (Guerra, 2009).

La capacidad del suelo para cumplir de modo adecuado todas estas funciones es lo que se llama estabilidad del suelo, entendiéndose entonces como degradación a la pérdida de calidad y cantidad dichas funciones, tratándose de la pérdida parcial o total de su productividad, cualitativa y/o cuantitativa, como resultado de procesos como la erosión hídrica, erosión eólica, salinización, deterioro de la estructura, encostramiento, contaminación y pérdida de elementos nutritivos, desertificación y los más comunes y representativos actividades antrópicas como agricultura y ganadería (López, 1994).

El hombre a través del manejo agrícola y de pastoreo, modifica las propiedades físicas y químicas del suelo, caracterizando a la agricultura convencional por el uso abusivo de fertilizantes y otros agroquímicos, laboreo excesivo de los suelos y la extensión de monocultivos. La agricultura convencional está basada en la aplicación de técnicas culturales que agravan los problemas de degradación de los suelos. Ello se traduce en una pérdida de la capacidad productiva, modificando propiedades físicas, este modelo de agricultura es totalmente dependiente de los insumos. La ganadería transforma los ecosistemas naturales a través de una conexión directa e indirecta asociado a la deforestación y quema de bosques, como también el desgaste absoluto e irreversible de los suelos cuyo resultado es la erosión, compactación y contaminación por fertilizantes sintéticos y plaguicidas para control de arvenses (Rosset, 1989; Shiva, 1991; Rosset y Medea 1994; Pomares *et al*, 2002).

El problema radica principalmente en el desconocimiento por parte de productores de la necesidad de conservar los suelos para la producción, sumado a que la información disponible es muy baja en lo relacionado a la investigación y estudios que permitan caracterizar la dinámica del suelo, sobre los tipos, causas, grado y severidad de la degradación del suelo, en nuestra región. Lo anterior dificulta enormemente la identificación y la puesta en práctica de estrategias efectivas de conservación y rehabilitación de suelos.

En consecuencia, esta investigación evaluó cuatro tratamientos T0, bosque secundario, T1 monocultivo de granadilla, T2 sistema frijol voluble relevo maíz y T3 sistema de pastoreo, propiedades físicas y químicas de los suelos y los efectos de la agricultura convencional y sobrepastoreo en este último y se realizó una comparación con suelos de un bosque secundario de la misma zona, la vereda Bella Vista del municipio de Sibundoy Putumayo

1. PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La degradación del suelo es la pérdida de la productividad y utilidad como resultado de factores naturales o antrópicos, los cuales afectan sus componentes o propiedades físicas, químicas y biológicas.

Componentes que se degradan por procesos desencadenados por las actividades humanas, como el aumento de la población, así como su migración hacia áreas urbanas y suburbanas, generan una serie de fenómenos que ejercen una presión constante hacia los suelos, reduciendo así su capacidad para sostener ecosistemas naturales o modificados, para mantener o mejorar la calidad del aire y el agua, y para preservar la salud humana. Dentro de dichos procesos se encuentran, el cambio de uso del suelo, la generación de residuos, la sobreexplotación de recursos hídricos y de combustibles fósiles. Entre las causas inmediatas que provoca el deterioro del suelo se cuentan, el cambio climático, la contaminación ambiental y la disminución de la biodiversidad (Lomelí, 2000).

Pero dentro de las principales causas que provocan la degradación de suelos, se encuentran.

- Deforestación o eliminación de la vegetación natural. Sustitución de masas forestales por cultivos agrícolas, explotación forestal a gran escala, incendios provocados, construcción de carreteras y asentamientos urbanos.
- Pastoreo excesivo. No sólo puede producir la degradación de la vegetación. Sino también la compactación y erosión del suelo.
- Prácticas agrícolas. Incluye una amplia variedad de actividades, desde el empleo insuficiente o excesivo de fertilizantes, riego con agua de mala calidad, empleo de maquinaria pesada o ausencia de medidas contra la erosión (Ansorena, 2004).

Los suelos del Valle de Sibundoy presentan altos niveles de intervención antrópica, pues han sido sometidos a intensas actividades agropecuarias, trayendo consigo impactos ecológicos y socioeconómicos que ha llevado a grandes limitaciones para resolver el problema de seguridad alimentaria. Su aplicación ha provocado el desequilibrio de los recursos naturales entre ellos, el suelo, cuya degradación es un problema ambiental y significa la alteración de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, con causas diversas y a menudo complejas, que hacen que el suelo deje de ser productivo a una velocidad alarmante (Guerra, 2014).

En la zona alta del municipio Sibundoy, los suelos han alcanzado en algunos lugares, procesos de degradación, causados principalmente por las actividades que el hombre realiza como el uso inadecuado de labranza, monocultivos, fertilizantes, pesticidas, uso intensivo de ganado, mal manejo de aguas que ocasionan baja productividad agrícola y mayores exigencias de adiciones de

insumos externos, elevando los costos de producción, además existen problemas de fallas geológicas que atraviesan la zona, el problema se acentúa por estar ubicados en pendientes por encima del 25 %, que representa alta susceptibilidad a la erosión.

La degradación física, se encuentra asociada principalmente con la pérdida de la capacidad del sustrato para absorber y almacenar agua, lo que ocurre cuando el suelo se compacta (por actividades agrícolas y de pastoreo), su superficie se endurece (encostramiento), (Malagón, 1986). Trayendo consigo alteración de las propiedades físicas del suelo como, densidad aparente y densidad real, porosidad, capacidad de almacenamiento de agua, además de propiedades químicas, de las cuales algunas se analizaron para determinar cómo es el estado actual de los suelos manejados por diferentes actividades antrópicas.

Por tal motivo se realizó esta investigación de los efectos de la agricultura convencional y sistema pastoreo, sobre propiedades físicas y químicas del suelo, y se comparó dichos resultados con los de un bosque secundario en suelos de la vereda Bellavista municipio de Sibundoy departamento del Putumayo.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿El manejo de agricultura convencional y sistema de pastoreo generan cambios en propiedades físicas y químicas de suelos ubicados en la vereda Bellavista del municipio de Sibundoy departamento del Putumayo?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de granadilla (*Pasiflora ligularis*), el sistema fríjol voluble (*Phaseolus vulgaris L*) relevo maíz (*Zea mays*), sistemas de pastoreo y bosques secundarios ubicados en la vereda Bellavista del municipio de Sibundoy departamento del Putumayo.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Determinar propiedades físicas del suelo como densidad aparente y real (g/cc), porosidad (%), humedad gravimétrica (%), humedad volumétrica%), resistencia a la penetración (MPa), estabilidad estructural en seco (DPM) y conductividad hidráulica (cm/h) y algunas químicas como pH y contenido de materia orgánica.
- ❖ Plantear alternativas de manejo ambiental de los sistemas de producción evaluados.

3. JUSTIFICACIÓN

Si bien la degradación del suelo es un conjunto de procesos dinámicos (físicos, químicos y biológicos) que afectan la productividad de los ecosistemas, lo cual puede llegar a ser irreversible y tener consecuencias sociales, económicas, ecológicas y políticas. Esta degradación se relaciona con el uso inadecuado de los recursos agua, suelo, flora y fauna, los dos primeros son la base fundamental para el abastecimiento de alimentos para las plantas, los animales y el hombre (Ortiz *et al.*, 1994).

La agricultura convencional y el pastoreo son actividades que ejerce el hombre haciendo uso deliberado del suelo como generando cambios en las propiedades que poseía antes de ser intervenido. Amezcua, (2004) afirma que algunas de las propiedades más cambiantes con la intensidad y tiempo de uso del suelo son las siguientes; físicas: densidad aparente, porosidad, distribución de tamaño de poros, retención de agua, capacidad de almacenamiento de agua, infiltración, conductividad hidráulica, aireación, laborabilidad, penetrabilidad, erodabilidad; químicas: pH, CIC, concentración de aluminio, almacenamiento de nutrientes, balance de nutrientes, biológicas pérdida de materia orgánica.

Las excesivas aplicaciones de fertilizantes químicos en las explotaciones agrícolas, los plaguicidas, la ganadería pueden originar, además, un empobrecimiento en materia orgánica de los suelos con una respuesta inmediata de aumento de erosión y pérdida de fertilidad. La utilización exclusiva de fertilizantes y plaguicidas favorece la pérdida de materia orgánica, con la subsiguiente repercusión negativa en el complejo arcilloso-húmico, y en la estructura del suelo, además actúan también como agentes dispersantes de los coloides del suelo (Burbano, 1989).

En la parte alta del municipio de Sibundoy, se ubica la vereda Bellavista, donde se desarrolla con gran intensidad actividades agrícolas y ganaderas, sumado a las prácticas convencionales y condiciones naturales, hacen que las propiedades físicas y químicas presentes en los suelos se vean alterados sin ningún tipo de manejo viéndose afectada la calidad del suelo.

Por tal motivo se hizo necesario realizar esta investigación, que permita evaluar la situación actual de las propiedades físicas y químicas de los suelos asociados a actividades antropogénicas como la agricultura convencional, en cultivos de granadilla (*Pasiflora ligularis*) y Frijol relevo maíz (*Phaseolus vulgaris* L) y sistemas de pastoreo, como también en bosques secundarios sin ningún tipo de intervención antrópica ubicados en la vereda Bellavista municipio de Sibundoy.

3.1 IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO

El impacto que se desea obtener con el desarrollo de este trabajo de investigación es que al evaluar algunas propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de granadilla, sistemas frijol voluble relevo maíz, sistema de pastoreo y bosque secundario se permitan conocer el estado del recurso suelo por los distintos manejos a través del tiempo, y así mismo se implementen estrategias con la implementación de buenas prácticas de manejo que logren la sustentabilidad del mismo como fundamento de la seguridad alimentaria y del equilibrio ambiental.

4. HIPOTESIS

4.1 HIPOTESIS EXPERIMENTAL

El manejo de la agricultura convencional y el pastoreo sobre los suelos ubicados en la vereda Bellavista ha generado cambios en las propiedades físicas y químicas de los mismos.

4.2 HIPOTESIS ESTADISTICA

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$. No existen diferencias estadísticas significativas en las propiedades tanto físicas como químicas respecto al efecto de tipo de uso del suelo.

Ha: $\mu_j \neq \mu_k; j \neq k$. Por lo menos un tratamiento produce un valor medio diferente en las propiedades físicas como químicas respecto al efecto de tipo de uso de suelo.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 Suelo. Es un sistema muy complejo que sirve como soporte de las plantas, además de servir de despensa de agua y de otros elementos necesarios para el desarrollo de los vegetales. El suelo es conocido como un ente vivo en el que habitan gran cantidad de seres vivos como pequeños animales, insectos, microorganismos (hongos y bacterias) que influyen en la vida y desarrollo de las plantas de forma diversas (López y López 1990).

Plata, (1989) define suelo como un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases: La fase sólida está formada por los componentes inorgánicos y los orgánicos que dejan un espacio de huecos (poros, cámaras, galerías grietas y otros) en el que hallan las fases líquida y gaseosa (principalmente oxígeno y dióxido de carbono). El volumen de huecos está ocupado mayoritariamente por agua que pueden llevar iones sustancias en solución o suspensión, por aire y por las rasas y organismos que viven en el suelo, todos estos elementos le dan sus propiedades físicas y químicas.

Los suelos difieren entre sí por sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Las propiedades físicas más relevantes son textura, temperatura, densidad aparente, densidad real, color y estructura. Las propiedades químicas más importantes son la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el grado de acidez y alcalinidad y concentración de sales en el perfil. Las propiedades químicas de los suelos están, sobre todo, asociadas con su capacidad de uso con fines agrícolas (Ramírez., 2009).

5.1.2 Degradación de los suelos. Según Matlock, citado por Cheveli *et al* (2006), la degradación del suelo fue definida como un proceso insidioso que puede ser expresado como el efecto acumulativo de una serie de acciones, que pueden o no ser evidentes tales como la reducción o desaparición de la vegetación, mayor tasa de escorrentía y menor infiltración de las precipitaciones, que conducen a la erosión creciente del suelo y a la pérdida de fertilidad.

La pérdida de recursos de suelos debido a su degradación es un tema importante a escala global, por sus efectos negativos sobre la productividad y la competitividad agrícola, el medio ambiente y la seguridad alimentaria. Se trata de un tema de especial relevancia para los países en desarrollo, ya que su crecimiento poblacional pone cada vez mayor presión sobre los recursos de suelo y los recursos naturales en general (*Libardo et al, 2004*).

La degradación de los suelos es un problema que a largo plazo, afecta significativamente la base de los recursos naturales, la capacidad de producir alimentos y la seguridad alimentaria en el planeta, en particular de los grupos poblacionales de menores recursos económicos (*Rivas et al, 2004*).

El tipo y la tasa de degradación edáfica están determinados por el uso y manejo que se le impone al suelo, por lo que resulta determinante identificar los procesos degradantes actuales o potenciales y las propiedades que son afectadas, entre las que se encuentran las físicas, que se consideran una función del clima, el material parental, la vegetación, la topografía y el tiempo, factores a los que se debe incluir la acción del hombre o factor antrópico (Díaz *et al.*, 2009).

Sanzano *et al.*, (2005) estudiaron la degradación física y química de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo, estos suelos comparados con el suelo virgen, mostraron un nivel de degradación significativa. La estabilidad estructural fue una variable muy sensible al manejo del suelo, por lo que se sugiere la determinación de la misma con carácter predictivo del nivel de degradación física y/o riesgo de erosión hídrica.

5.1.3 Indicadores de la calidad de los suelos. Cantu (2007) afirma que un indicador del suelo es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante. Los indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque pueden ser cualitativas o nominales o de rango u ordinales, especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, o el atributo no es cuantificable, o cuando los costos para cuantificar son demasiado elevados. Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras.

Los suelos con buena calidad física deben tener características de almacenaje y transmisión de fluidos que permitan proporciones adecuadas de agua, nutrientes disueltos y aire como para promover el máximo desarrollo de los cultivos y una mínima degradación ambiental (Ferrerías *et al.*, 2007).

Rodríguez *et al.*, (2006) manifiestan que los principales indicadores relacionados con del suelo son: Físicos (granulometría, microestructura, densidad aparente, resistencia a la penetración, peso específico y porosidad total); químicos (contenido de N, fósforo asimilable, Ca y Mg, MO) y biológicos (respiración basal, respiración inducida, capacidad celulolítica, mesofauna y macrofauna).

La mayoría de los estudios coinciden en que la materia orgánica es el principal indicador del suelo y ejerce una influencia más significativa sobre su productividad. Reeves, (1997) señala que el carbono orgánico es el atributo más analizado en estudios de larga duración y escoge como indicador más importante de calidad del suelo y de sustentabilidad agronómica, debido a su efecto sobre otras propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como se puede observar en la tabla (Zagal y Córdova, 2005).

5.1.4 Propiedades físicas de los suelos. Deben ser entendidas en conjunto y formando un todo armónico por cuanto se establece una íntima relación al estar asociadas con la producción que en muchos casos se constituyen en factores determinantes de ésta y algunas de ellas como la estructura han sido llamadas la clave de la productividad del suelo (Montenegro, 2003).

Además, las propiedades físicas de los suelos son de gran importancia, por cuanto infinidad de prospecciones de uso, explicaciones de respuesta a fertilización, diseño de riegos y drenajes, construcciones, prácticas de manejo de suelos, control de la erosión, conservación de suelos, manejo de cuencas hidrográficas, entre otras, están regidos por ellas (Montenegro y Malagón, 1990).

Montenegro (2003), divide a las propiedades físicas en dos grupos de acuerdo con su determinación y con sus fenómenos relacionados en: propiedades físicas fundamentales (color, textura, estructura, consistencia, la densidad y temperatura) y propiedades físicas derivadas (porosidad, capacidad de aire capacidad de agua, compactación y profundidad efectiva radical).

Baver, Gardner y Gardner (1973) citados por Legarda (1985), afirman que un suelo de textura gruesa tiene baja capacidad de retención de agua y una elevada permeabilidad, mientras que los suelos de textura fina poseen alta capacidad de retención de agua, pero lenta permeabilidad. De igual forma se menciona que la estabilidad de agregados es otra cualidad del suelo de máxima importancia en la formación y en la conservación de buenas relaciones estructurales.

La densidad aparente se define como el peso secado al horno de un volumen unitario de suelo incluyendo espacios porosos y expresado frecuentemente en g/cm^3 , una de las propiedades más determinantes de las características de permeabilidad y aireación del suelo, y su persistencia en el tiempo es reflejo de la estabilidad de los agregados, el desarrollo vegetal es afectado por la degradación de la estructura del suelo, que influye en la relación aire – suelo- aire. Esta relación se asocia con el aumento de la densidad aparente y con el cambio en la distribución por el tamaño de los poros (Sánchez *et al.*, 2003).

Según Alakuku, 1996, citado por Martínez *et al.*, (2010) la resistencia a la penetración es un parámetro más sensible que la densidad aparente, para caracterizar la compactación del suelo estudiado.

Blanco (2009) afirma que la compactación es un proceso por el cual se comprime la masa de suelo como consecuencia de la aplicación de cargas o presiones. En términos físicos, la compactación disminuye el volumen de poros, modifica la estructura porosa y aumenta la densidad aparente, estos cambios estructurales por compactación alteran las propiedades volumétricas del suelo, lo que repercute en el desarrollo y crecimiento de las plantas porque decrece la conductividad hidráulica y la capacidad de retención de agua y se altera la difusión de gases en su interior. Estos cambios provocan una deficiente aireación y un suministro inadecuado de oxígeno para el desarrollo de las plantas. Así mismo, la degradación de la estructura

del suelo por compactación provoca una ralentización o paralización del desarrollo de las raíces.

Desde el punto de vista agronómico, procesos como la compactación conducen a una modificación del volumen de poros del suelo que afecta, en mayor o menor medida, el desarrollo de las plantas. De ese volumen dependen tanto los fenómenos de transferencia de calor, gases, agua y solutos, como las propiedades mecánicas de resistencia a la penetración y resistencia a la rotura transferencia de calor, gases, agua y solutos, como las propiedades mecánicas de resistencia a la penetración y resistencia a la rotura (Cerisola *et al.*, 2005).

La estimación de la velocidad de infiltración y la lámina acumulada, es de gran importancia debido a su aplicación en el sector agrícola y ambiental, dado que permiten cuantificar la escorrentía, la erosión, disponibilidad de sedimentos, la capacidad de recarga de acuíferos, definir la operación de sistemas de riego y estudiar los efectos de diferentes prácticas de uso, la variabilidad del suelo y en especial los contenidos de arcillas, que inciden en la variabilidad espacial de la infiltración (Rodríguez *et al.*, 2008).

La estructura es del suelo fue definida como la organización espacial de las partículas del suelo, agregados y poros. Se la considera una propiedad física compleja debido a que es condicionada parcialmente por propiedades intrínsecas, como la textura y composición mineralógica, y en parte por factores extrínsecos, como el tipo de uso y sistema de manejo a que se somete el suelo (Imhoff *et al.*, 2010).

El estudio de la evolución de la estructura de un suelo sometido a acciones mecánicas y climáticas puede abordarse a partir de un seguimiento de las propiedades físicas que lo caracterizan. Entre estas propiedades, la más importante es la porosidad, ya que relaciona el volumen de suelo que exploran las raíces con el volumen disponible para el agua y el aire que requieren en su desarrollo (Cerisola *et al.*, 2005).

5.1.5. Agricultura convencional. En la agricultura convencional, la labranza del suelo es considerada una de las operaciones más importantes para crear una estructura favorable del suelo, preparar el lecho de las semillas y controlar las malezas. Pero los implementos mecánicos, especialmente aquellos arrastrados por tractores destruyen la estructura del suelo al reducir el tamaño de los agregados; actualmente, los métodos de labranza convencional son la mayor causa de pérdida del suelo y de desertificación en muchos países en desarrollo.

El aumento creciente de la mineralización de la materia orgánica del suelo resultante del cultivo continuo puede acarrear, a corto plazo, incrementos de rendimiento, pero a largo plazo, la vida y la estructura del suelo resultan perjudicadas. La labranza profunda daña la población de lombrices de tierra y otros organismos del suelo; los puede directamente matar, destruir sus galerías, reducir la humedad del suelo y la cantidad y disponibilidad de sus alimentos.

Otras prácticas inadecuadas de manejo de la tierra tal como el uso de ciertos pesticidas y muchos fumigantes del suelo y algunos fertilizantes inorgánicos, especialmente el sulfato de amonio, también pueden ser perjudiciales para la vida en el suelo. Todas estas prácticas dan lugar a una menor vida en el suelo y a una reducción de la materia orgánica que son importantes para los ciclos del oxígeno, del agua y de los nutrientes, incluyendo la retención de humedad, la infiltración del agua y la nutrición de las plantas. De esta manera el suelo se vuelve vulnerable a la compactación la cual a su vez reduce la tasa de infiltración de agua y la capacidad de almacenamiento.

Uno de los resultados es un mayor flujo de agua a través del suelo desnudo induciendo la escorrentía y la pérdida de agua depositada en el suelo y, en definitiva, una posterior pérdida del potencial productivo. La continua degradación del suelo está poniendo en peligro la seguridad alimentaria y el bienestar de millones de familias de agricultores en todo el mundo. Las principales causas no incluyen solo la preparación intensiva del suelo con azadas o arados sino también la deforestación, la remoción o la quema de los residuos, un manejo inadecuado de las tierras de pastoreo y rotaciones incorrectas que no mantienen la cobertura vegetativa y que no permiten la restitución adecuada de la materia orgánica y los nutrientes de las plantas.

Estas prácticas dejan el suelo expuesto a los peligros climáticos como el viento, la lluvia y el sol (FAO, 2002).

5.2 MARCO LEGAL

El presente trabajo de investigación tiene su argumento legal en conceptos, ideas y planteamientos constitucionales y legales para darle un contexto Colombiano con el cual se puede soportar su validez a la hora de aplicar esta evaluación en algún predio regional, local o nacional.

5.2.1 Constitución Política Nacional de Colombia 1991

Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Artículo 80. El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados, así mismo cooperará con otras naciones en la protección.

5.2.2 Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Decreto 2811 de 1974, de la parte VII de la tierra y los suelos, título I del suelo agrícola

Capítulo I. Principios generales

Artículo 178. Los suelos del territorio nacional deberán usarse de acuerdo a sus condiciones y factores constitutivos. Se determinará el uso potencial de los suelos según los factores físicos, ecológicos y socioeconómicos de la región. Según dichos factores también se clasificarán los suelos.

Artículo 179. El aprovechamiento de los suelos deberá efectuarse en forma de mantener su integridad física y su capacidad productora. En la utilización de los suelos se aplicarán normas técnicas de manejo para evitar su pérdida o degradación, lograr su recuperación y asegurar su conservación.

Artículo 180. Es deber de todos los habitantes de la República colaborar con las autoridades en la conservación y en el manejo adecuado de los suelos. Las personas que realicen actividades agrícolas, pecuarias, forestales o de infraestructura, que afecten o puedan afectar los suelos, están obligadas a llevar a cabo las prácticas de conservación y recuperación que se determinen de acuerdo con las características regionales.

5.2.3 Capítulo III. Del uso y conservación de los suelos.

Artículo 182. Estarán sujetos a adecuación y restauración los suelos que se encuentren en alguna de las siguientes circunstancias:

- a). Inexplotación si, en especiales condiciones de manejo, se pueden poner en utilización económica.
- b). Aplicación inadecuada que interfiera la estabilidad del ambiente.
- c). Sujeción a limitaciones físico - químicas o biológicas que afecten la productividad del suelo.
- d). Explotación inadecuada.

5.2.4 Sistema General Ambiental Ley 99 de 1993

Artículo 3. Establece el concepto de Desarrollo sostenible entendido como “El que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.

5.2.5 La carta mundial de los suelos establecida por la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación hace mención a los siguientes principios:

Como principales recursos de que dispone el hombre están: el suelo, agua, flora, fauna y aire. Su uso no deberá provocar su degradación o destrucción, porque la existencia del hombre depende de su calidad. Reconociendo la suprema importancia de los suelos para la supervivencia y el bienestar de los pueblos y la independencia económica de los países, es absolutamente necesario el mejoramiento de la productividad de los suelos y a la conservación de los recursos edafológicos.

Por degradación de los suelos se entiende la pérdida parcial o total de la productividad de los mismos, cuantitativa y/o cualitativamente, o en ambas formas, como consecuencia de procesos erosivos, la salinización, el anegamiento, el agotamiento de los nutrientes; de las plantas el deterioro de la estructura de los suelos, la desertificación y la contaminación. Es de urgente necesidad el incremento de la producción alimentaria de fibras y maderas.

El deterioro de algunas de las propiedades físicas y químicas del suelo a consecuencia de la erosión, arrastre y sedimentación, repercute directamente en la calidad del mismo, originando pérdidas en la productividad, desarrollo de la vegetación y cambios de uso del suelo.

Es competencia de las autoridades nacionales, departamentales y locales, promover estrategias de conservación para mitigar los efectos negativos que atenten contra los recursos naturales.

5.2.6 El uso del suelo debe estar bajo los criterios que se mencionan en la Ley 388 de 1997

La cual garantiza la utilización del suelo por parte de sus propietarios para que se ajuste a la función social de la propiedad y permita hacer efectivos los derechos constitucionales a la vivienda y a los servicios públicos domiciliarios, y velar por la creación y la defensa del espacio público, así como por la protección del medio ambiente y la prevención de desastres.

5.3 MARCO CONTEXTUAL

5.3.1 Departamento del Putumayo. Está localizado al sur de Colombia, entre los 0° 40' de latitud sur y 1° 25' de latitud norte y entre los 73° 50' y 77° 10' al oeste de Greenwich. Su extensión es de 25.282 Kilómetros cuadrados, o sea el 2.26 % de la superficie total del país.

La región noroccidental del departamento, se encuentra conformada políticamente por cuatro municipios de Santiago, Colon, Sibundoy y San Francisco, que suman una extensión de casi 120.000 Hectáreas, se encuentra entre los 600 y 4000 metros sobre el nivel medio del mar, su dinámica económica gira entorno a la producción agropecuaria, especialmente dirigida a la ganadería de leche y el cultivo de frijol (Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hídricas, 2009).

5.3.2 Municipio de Sibundoy. Se encuentra localizado al sur-occidente de Colombia en las estribaciones de las montañas del Macizo Colombiano, en el nor-occidente del departamento del Putumayo a una altura de 2100 m.s.n.m; en la subregión denominada Valle de Sibundoy. Geográficamente forma parte de la región andino-amazónica y se enmarca dentro de las coordenadas 1° 12' 12" latitud norte y a 76° 51' 15" al occidente del meridiano de Greenwich, la temperatura media registrada es de 16 °C; en cuanto a la población cuenta 13 mil habitantes aproximadamente, de los cuales el 45% se encuentra ubicado en la zona rural y el 55% en la zona urbana. La vereda Bellavista hace parte de las 17 veredas que forman la zona rural de Sibundoy (Figura 1).

5.3.3 Consociación Santiago (SP). Los suelos que conforman esta unidad de mapeo se ubican en las áreas que circundan los municipios de Sibundoy y San Francisco (Figura 2), en alturas generalmente por encima de los 2800 m.s.n.m. con un clima muy frío y húmedo y una formación vegetal correspondiente al bosque pluvial montano (bp-M). El relieve es ligeramente ondulado a fuertemente quebrado, con pendientes cortas y que varían de 3 a 65% modelado por depósitos de cenizas volcánicas; los procesos geomorfológicos más dinámicos han sido el escurrimiento difuso, los deslizamientos y las patas de vaca. Presentan ciertas erosiones en algunos sectores actualmente las tierras están cubiertas por diferentes tipos de cultivos.

La consociación está formada por suelos inceptisoles en un 100% con suelos del suborden udepts que ocupan áreas con relieves suaves y quebradas en toda su extensión (Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hídricas, 2009).

5.3.4 Vereda Bellavista. Es una zona ondulada caracterizada por poseer pendientes entre el 6% y 22% distribuida entre el pie de la ladera a 2200 m.s.n.m. y 2500 m.s.n.m. con materiales involucrados de lavas andesitas y basaltos cubiertas con capas de lapilli y cenizas volcánicas con serie de abanicos formados por las diferentes corrientes que bajan las montañas con pendientes disecadas en donde se presentan procesos de deslizamientos difusos, soliflucción, reptación y "patas de vaca" separadas por pequeños taludes que dan como resultado la aparición de terracotas.

Figura 1. Ubicación de la vereda Bella vista en el municipio de Sibundoy departamento del Putumayo.



Figura 2. Especiación de las unidades de suelo en el Valle de Sibundoy.

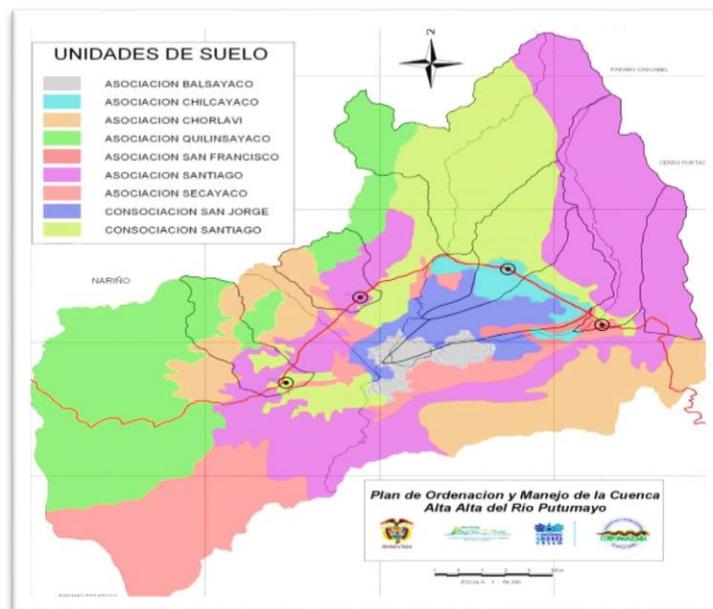
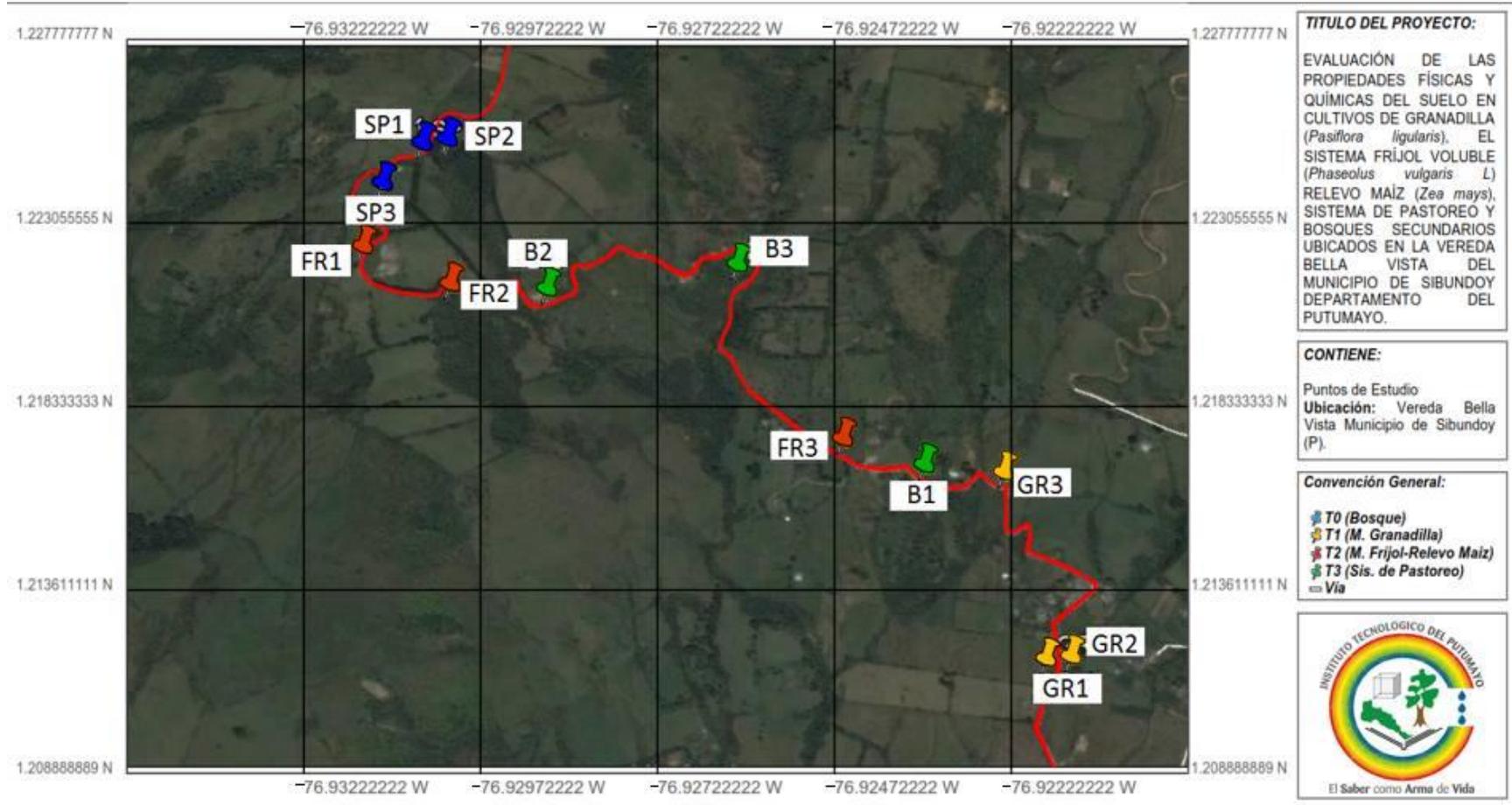


Figura 3. Localización del área de estudio



5.4. MARCO CONCEPTUAL

5.4.1 Suelo. Puede definirse como aquel material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende de la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad; mientras que un suelo contaminado puede definirse como aquél donde se encuentran presentes uno o más materiales peligrosos y/o residuos de toda índole y que pueden constituir un riesgo para el ambiente y la salud (Ordoñez, 2007).

5.4.2 Suelo agrícola. Es aquel que se utiliza en el ámbito de la productividad para hacer referencia a un determinado tipo de suelo que es apto para todo tipo de cultivos y plantaciones, es decir, para la actividad agrícola o agricultura. El suelo agrícola debe ser en primer lugar un suelo fértil que permita el crecimiento y desarrollo de diferentes tipos de cultivo que sean luego cosechados y utilizados por el hombre, por lo cual también debe ser apto por sus componentes para el ser humano (Ordoñez, 2007).

5.4.3 Vegetación. Es un factor dominante en la información del suelo, ya que es la fuente primaria de la materia orgánica y por su importante rol en el reciclaje de nutrientes e hidrología del sitio. No existe aceptación uniforme de un sistema para la descripción de la vegetación natural o semi-natural. El tipo de vegetación puede ser descrito usando un sistema local, regional o internacional (Unigarro et al, 2005).

5.4.4 Bosque secundario. Un bosque secundario es el resultado de la explotación continua del bosque por parte del hombre, en actividades como la agricultura migratoria, el pastoreo y el uso de leñas (Castillo, 2002 citado por Vargas 2012).

5.4.5 Calidad de suelo. La Sociedad de la Ciencia del Suelo de Estados Unidos (1987) define la calidad de suelos como “los atributos inherentes de los suelos que son inferidos desde las características del suelo o de observaciones indirectas (por ejemplo compactibilidad, erodabilidad y fertilidad)” (Vanegas, 2006 citado por García 2011).

5.4.6 Compactación. La compactación es un proceso por el cual se comprime la masa de suelo como consecuencia de la aplicación de cargas o presiones. En términos físicos, la compactación disminuye el volumen de poros, modifica la estructura porosa y aumenta la densidad aparente según Baver et al., 1991 (Citado por Blanco 2009).

5.4.7 Degradación. La degradación de los suelos, entendida como los procesos inducidos por el hombre que disminuyen la capacidad actual y/o futura del suelo para sostener la vida humana (Oldeman, 1989 citado por Espinosa et al., 2011), está relacionada con el régimen climático, las condiciones geomorfológicas y las características intrínsecas de los suelos, pero sobre todo con la deforestación, el

establecimiento de sistemas agrarios inapropiados y el impacto que causan las políticas públicas en el medio ambiente.

5.4.8 Densidad Aparente. De un material o un cuerpo es la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo huecos y poros que contenga, aparentes o no (Vargas, 2012).

5.4.9 Densidad real. Es el peso de las partículas sólidas del suelo, relacionado con el volumen que ocupan, sin tener en cuenta su organización en el suelo. Se define como la relación que existe entre el peso seco de una muestra de suelo, y el volumen que esa muestra ocupaba en el suelo (Vargas, 2012).

5.4.10 Erosión o degradación de los suelos. Es la pérdida del mismo, principalmente por factores como las corrientes de agua y de aire, en particular en terrenos secos y sin vegetación, además el hielo y otros factores. La erosión del suelo reduce su fertilidad porque provoca la pérdida de minerales y materia orgánica (Sanzano *et al*, 2005).

La textura está determinada, en gran parte, por el tipo material parental que constituye al suelo, y también por el grado de intemperización a que haya estado sometido. Un tercer factor, que la determina dentro de un área específica, es la forma de transporte del material (Reyes, 2010).

5.4.11 Pendiente. Es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente. La pendiente se mide calculando la tangente de la superficie. La tangente se calcula dividiendo el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal. Normalmente la pendiente se expresa en planimetría como un porcentaje de pendiente que equivale al valor de la tangente (pendiente) multiplicado por 100 (Rodríguez *et al*, 2008).

5.4.12 Porosidad del suelo. Se define como el espacio de suelo que no está ocupado por sólidos y se expresa en porcentajes. Se define también como la porción de suelo que está ocupada por aire y/o por agua. En suelos secos los poros estarán ocupados por aire y en suelos inundados, por agua. Los factores que la determinan son principalmente la textura, estructura y la cantidad de materia orgánica (Reyes, 2010).

6. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación denominada “EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO EN CULTIVOS DE GRANADILLA (*Pasiflora ligularis*), EL SISTEMA FRIJOL VOLUBLE (*Phaseolus vulgaris* L) RELEVO MAÍZ (*Zea mays*), SISTEMAS DE PASTOREO Y BOSQUES SECUNDARIOS UBICADOS EN LA VEREDA BELLAVISTA DEL MUNICIPIO DE SIBUNDOY DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO.” abarca los siguientes aspectos:

6.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó en los suelos de la vereda Bellavista en la parte alta de la cabecera urbana del municipio de Sibundoy que pertenecen a la Asociación Santiago, la cual presenta una precipitación promedio multianual de 1.578 mm, con temperaturas que oscilan entre 15°C – 17°C y una altitud entre 2000- 2100 m.s.n.m. en clima frío muy húmedo. Tiene una zona de vida correspondiente al bosque húmedo montano bajo (bh-MB), el relieve fuertemente ondulado a escarpado, con pendientes cortas y largas de grado 12-25-50% y mayores del 50%, que han sido modeladas en algunos sectores por depósitos de cenizas volcánicas. Son frecuentes los procesos geomorfológicos como escurrimiento difuso, soliflucción, deslizamientos, reptación y paca de vaca, los cuales dan al área un aspecto ligero a moderadamente erosionado, son suelos con alta influencia de actividades antrópicas como la agricultura convencional y el sistema de pastoreo (Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca alta del río Putumayo, 2010).

Las coordenadas de cada tratamiento y su numeración se las ubico en la (Tabla 1), para delimitar en qué posición se encuentran ubicado cada uno de ellos.

Tabla 1. Coordenadas de cada tratamiento y su repetición.

Tratamientos	Repeticiones	Norte (N)	Oeste (W)
T0 (Bosque Secundario)	1	1,212664	-76,923698
	2	1,214995	-76,929438
	3	1,215860	-76,926358
T1 (Granadilla)	1	1,209287	-76,921748
	2	1,209783	-76,921748
	3	1,212770	-76,922246
T2 (Frijol relevo maíz)	1	1,215742	-76,932472
	2	1,215210	-76,930752
	3	1,213109	-76,924952
T3 (Sistemas de pastoreo)	1	1,217688	-76,931365
	2	1,217632	-76,931673
	3	1,216886	-76,931881

6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

Una vez seleccionada el área de muestreo, fue importante conocer los diferentes manejos que se presentan en la zona de estudio, por lo cual se establecieron los siguientes tratamientos a evaluar:

T0: Bosque secundario

T1: Monocultivo de granadilla

T2: Monocultivo de frijol relevo maíz

T3: Sistema de pastoreo

Una vez establecidos los tratamientos cada uno con tres (3) repeticiones (lotes), para un total de doce (12) unidades experimentales, las cuales se ubicaron independientemente una de otra. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones.

6.3 VARIABLES A EVALUAR.

Para determinar el efecto de la agricultura convencional y el pastoreo sobre propiedades físicas y químicas de los suelos de la vereda Bellavista se evaluó las siguientes propiedades.

6.3.1 Propiedades físicas. Densidad aparente (g/cc), densidad real (g/cc), humedad gravimétrica (%), humedad volumétrica (%), porosidad (%), resistencia a la penetración (MPa), estabilidad estructural en seco (DPM), conductividad hidráulica (cm/h).

Las variables evaluadas, su metodología de determinación y cálculos correspondientes se realizaron en el laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo y se plasman en la siguiente manera (Tabla 2).

Tabla 2. Variables evaluadas y método de determinación.

PROPIEDAD FISICA A EVALUAR.	MÉTODO DE DETERMINACION
Densidad aparente (Da)	Cilindro de volumen conocido o cilindro graduado
Densidad real (Dr)	Picnómetro
Porosidad (Pr)	$1 - \left(\frac{Da}{Dr}\right) * 100$

Humedad gravimétrica	Estufa a 105 °C
Humedad volumétrica	$\left(\frac{Da}{Da * g}\right) * H$
Resistencia a la penetración	Penetrografo
Estabilidad estructural en seco	Tamizador Shaker
Conductividad hidráulica	Permeámetro de cabeza constante

6.3.2 Propiedades químicas. Contenido de materia orgánica y pH de los suelos.

Tabla 3. Variables evaluadas y método de determinación.

PROPIEDAD A EVALUAR.	MÉTODO DE DETERMINACION
Materia orgánica	Utilización de peróxido de hidrogeno
pH	Peachimetro relación 1:1

6.4 METODOLOGÍA DE CAMPO

6.4.1 TOMA DE MUESTRAS

Para la toma de muestras se establecieron cuatro tratamientos (T0) bosque secundario, (T1) monocultivo de granadilla, (T2) monocultivo de frijol voluble y (T3) sistema de pastoreo, con tres repeticiones por cada uno para un total de dieciséis (16) unidades experimentales, donde se realizarán 3 cajuelas de 40cm x 40cm x 40cm, las muestras se tomarán a distintas profundidades de 0-20cm y 20-40cm (Figura 4).

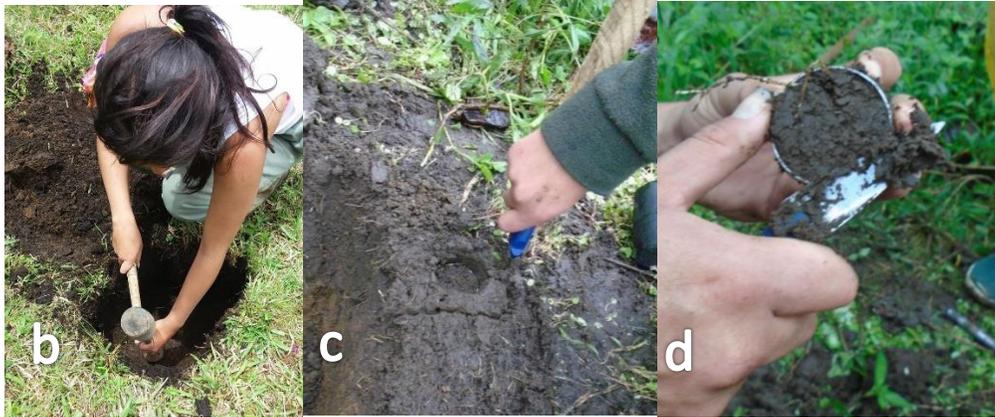
Figura 4. Cajuela de muestreo en campo.



En el muestreo se hizo necesario eliminar la vegetación, y para las muestras sin disturbar se utilizó un anillo de acero de volumen conocido (5cm de diámetro, 2,5cm de alto y 2mm de grosor) que se colocó horizontalmente sobre la superficie del suelo, sobre este se coloca el muestreador que se golpeó uniformemente para poder introducir el anillo sin afectar la muestra (Figura 5).

Figura 5. Toma de muestras sin disturbar.





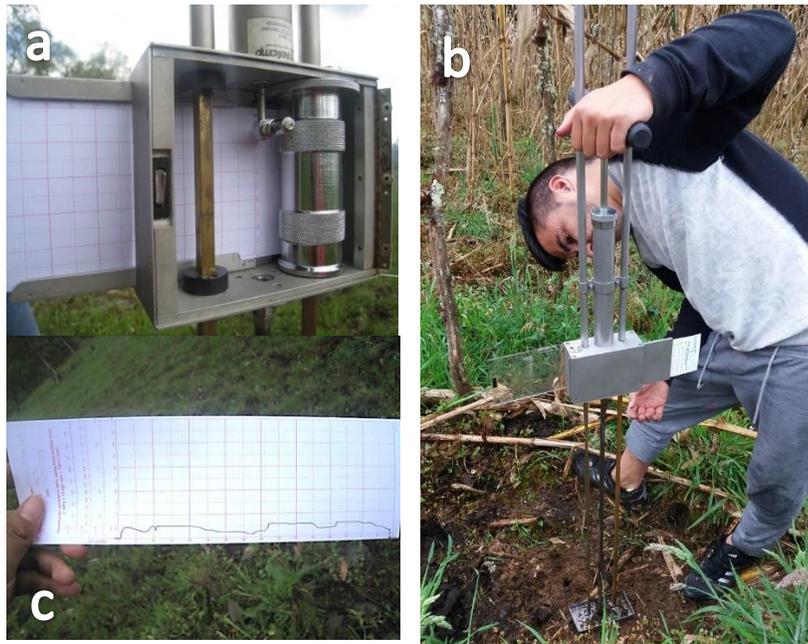
a) Limpieza del lugar **b)** Muestreo con anillo a profundidad 0-20 **c)** Retirado de la muestra **d)** Eliminación de excesos.

Las muestras disturbadas se tomaron con ayuda de una espátula a profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40cm, que equivalían a unos 200gr de suelo para los diferentes análisis físicos como densidad aparente y real (g/cm), humedad gravimétrica (%), humedad volumétrica (%), resistencia a la penetración (MPa), estabilidad estructural en seco (DPM), y conductividad hidráulica (cm/h) químicos como pH y otros como contenido de materia orgánica.

6.4.2 RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

Esta propiedad se determinó en campo con la ayuda de un penetraógrafo. En cada repetición de los diferentes tratamientos se realizaron cinco puntos en los cuales se determinó la resistencia a la penetración como se muestra en la (Figura 6). En el mismo punto se realizó una cajuela de las dimensiones anteriormente descritas para obtener muestras de suelo a profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 y posteriormente determinar su humedad.

Figura 6. Medición de resistencia a la penetración con penetrógrafo.



a) Ubicación de la banda para graficar. b) Medición de la fuerza de resistencia c) Grafica terminada.

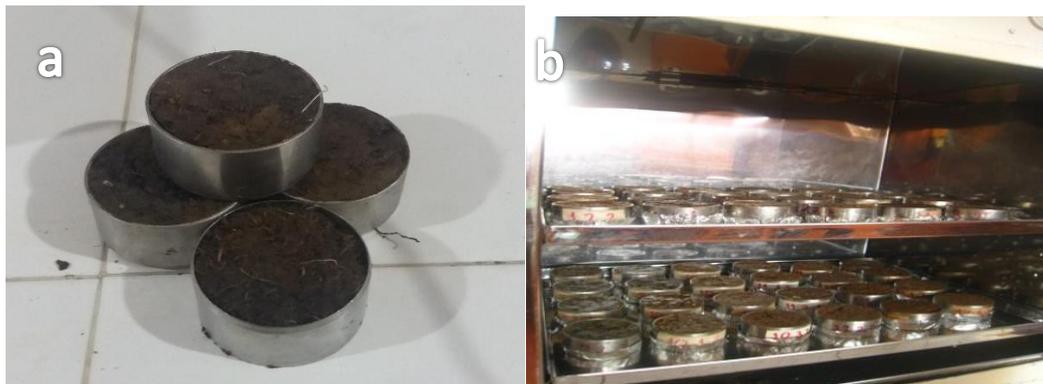
6.5 METODOLOGIA DE LABORATORIO

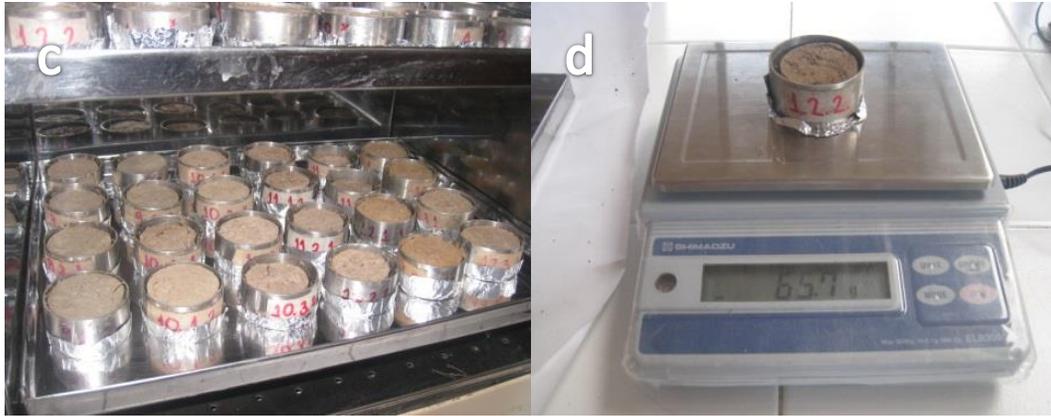
Una vez obtenidas las muestras en campo se llevaron al laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo, para desarrollar la evaluación de cada variable de la siguiente manera.

6.5.1 Densidad Aparente

Para la determinación de la densidad aparente (D_a) en laboratorio se utilizó el método del anillo con volumen conocido como se muestra en la (Figura 7).

Figura 7. Determinación de densidad aparente en el laboratorio.



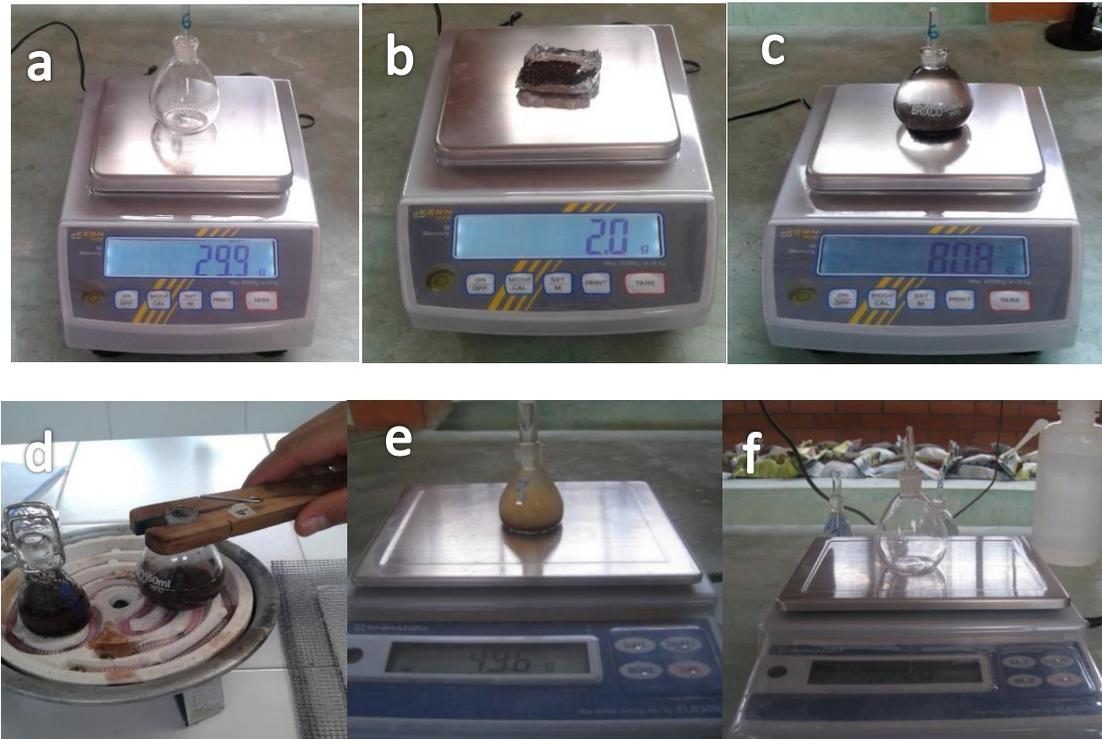


a). Muestra en húmedo. **b).** Muestras al horno a (105°C). **c).** Muestras después de 24 horas. **d).** Peso de la muestra en seco.

6.5.2 Densidad real.

En el laboratorio para establecer el valor de densidad real (D_r) se utilizó el método del picnómetro como se puede apreciar en la Figura 8.

Figura 8. Determinación de densidad real en laboratorio.



a) Peso picnómetro vacío. **b).** Peso de suelo. **C).** Peso picnómetro más suelo más agua. **d).** Muestra puesta a estufa. **e).** Peso de la muestra después de hervir. **f).** peso picnómetro más agua.

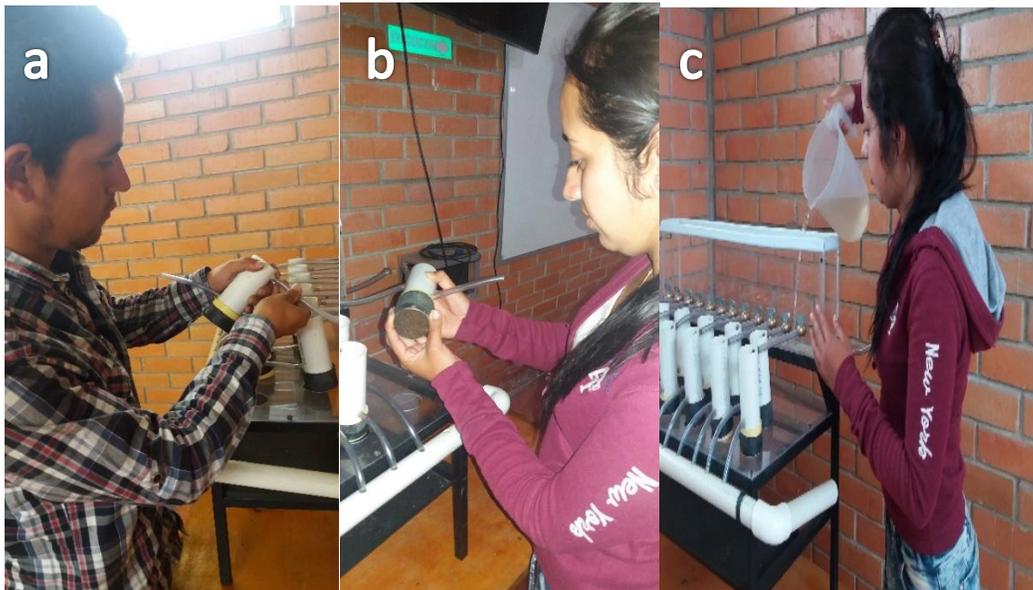
6.5.3 Conductividad hidráulica

La evaluación de esta propiedad se realizó con un permeámetro de cabeza constante (Figura 9), equipo que fue elaborado por el grupo de investigación y se la determino de la siguiente manera como se muestra en la (Figura 10).

Figura 9. Permeámetro de cabeza constante.



Figura 10. Determinación de conductividad hidráulica en laboratorio.





- a) Montaje del equipo b) Puesta de anillos en equipo c) Agregación de agua
d) Saturación de agua en las muestras e) Inicio de lecturas f) Medición de agua obtenida en probeta.

6.5.4 Estabilidad estructural con Shaker.

La evaluación de esta propiedad se realizó con un equipo llamado Shaker (Figura 11) para esto el suelo se secó al ambiente y de este se utilizaron 150g y se determinó en laboratorio de la siguiente manera como se muestra en la (Figura 12) teniendo en cuenta que se tamiza cada muestra por 10 minutos.

Figura 11. Shaker, equipo para evaluación de estabilidad estructural



Figura 12. Determinación de estabilidad estructural en laboratorio.





- a)** Peso del suelo a evaluar. **b)** Agregación del suelo al tamiz **c)** Suelo en tamiz para analizar **d)** Ubicación de los tamices **e)** Ajuste de los tamices **f)** Vaciado del suelo **g)** Separación del material retenido en cada tamiz. **h)** Peso del material retenido.

6.5.5 Determinación de pH

Para la evaluación de esta propiedad química se realizó una relación 1:1 es decir 20 g del suelo a evaluar más 20 cc de agua en un beaker se mezcla por 30 seg cada 20 minutos, tres veces al final se utilizó un equipo llamado peachimetro (Figura 13), y el procedimiento de laboratorio se muestra en la (Figura 14).

Figura 13. Peachimetro.



Figura 14. Determinación de pH en laboratorio.



a) Mezcla de agua más suelo. b) Toma de pH.

6.5.6 Materia orgánica. Se utilizó peróxido de hidrogeno (agua oxigenada) para determinar el contenido de materia orgánica presente en el suelo de cada tratamiento.

De cada suelo de los distintos tratamientos se tomó una pequeña cantidad de suelo (Figura 15) y se le agrego unas gotas de peróxido de hidrogeno.

Figura 15. Muestra de suelo y adición de peróxido de Hidrogeno



Para poder determinar la reacción se acercó el suelo al oído para escuchar la reacción y clasificarla en ligera fuerte o violenta, como también se observó si se presentaron burbujas de aire.

6.6 METODOLOGIA PARA PLANTEAR ALTERNATIVAS AMBIENTALES PARA EL MANEJO DEL SUELO.

Para cumplir este objetivo se realizaron recorridos de campo por cada uno de los sistemas evaluados y por las zonas aledañas, determinando el estado actual de los sistemas de producción y de los suelos que en la actualidad presentan manejos agrícolas pecuarios, estos recorridos permitieron plantear algunas alternativas de manejo ambiental que se muestran más adelante en la (Tabla 8).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la discusión de los resultados de campo, inicialmente se tomaran cada una de las variables evaluadas realizando una comparación entre la profundidad de muestreo (0 a 20 cm y 20 a 40 cm) que permitirá comparar los cambios de suelo a las dos profundidades, además se realizara un análisis con promedios y un análisis de varianza ANOVA para determinar si existían diferencias significativas y en los casos que si se encontraron diferencias se realizaron pruebas de significancia de Tukey donde ($P < 0.05$) entre la agricultura convencional y sistemas de pastoreo del suelo, en comparación con los bosques secundarios (Anexo A).

Antes de realizar el análisis de promedio es preciso determinar que se realizó un análisis (ANOVA), para determinar si existían diferencias significativas. En algunas propiedades fue necesario realizar pruebas de significancia de Tukey, ya que si existieron diferencias, tal y como se describe más adelante (Anexo E).

Con respecto a la densidad aparente en la profundidad de 0 a 20 no hubo diferencias significativas, pero en la profundidad de 20 a 40 si se encontraron diferencias significativas, por tal motivo fue necesario realizar una prueba de significancia Tukey en el cual el T1 (granadilla) fue el que obtuvo el valor más alto (0,74 g/cc) en relación a los demás tratamientos, los cuales sus valores fluctuaron casi en el mismo rango. (0,55 a 0,57 g/cc).

Con respecto a la densidad real a las dos profundidades se encontraron diferencias significativas ya que en los dos casos los valores fueron menores a 0,05 donde ($P < 0,05$). Con la ayuda de Tukey en la profundidad de 0 a 20 se puede inferir que hay diferencias entre el T2 (frijol relevo maíz) y los tratamientos T0 (bosques), T1 (granadilla) y T3 (sistemas de pastoreo), ya que el valor del promedio de T2 (2,23 g/cc) es superior con respecto a los otros valores de los tratamientos en mención los cuales se encuentran en los rangos de 1,67 y 1,77 g/cc.

En la profundidad de 20 a 40 la densidad real presento diferencias entre el tratamiento T2 (frijol relevo maíz) con un valor superior de 2,33 g/cc con respecto a los demás tratamientos los cuales obtuvieron valores entre 1,70 y 1,83 g/cc.

Con relación a la porosidad se presentaron diferencias significativas a la profundidad de 20 a 40 cm. El tratamiento T1 (granadilla) con un valor de 59,23 % fue diferente con relación a los demás tratamientos los cuales sus valores se encuentran en un rango sin diferencias significativas con valores entre 59,23 % y 69,07 %.

El pH presento diferencias significativas en la profundidad de 20 a 40 Cm. El tratamiento T1 (granadilla) fue estadísticamente diferente con el tratamiento T3 (sistema de pastoreo) ya que el valor promedio del tratamiento T1 es de 6,09 y el del T3 es de 5,49.

Las propiedades que presentaron diferencias significativas en la prueba de varianza ANOVA están descritas posteriormente (Tabla 4).

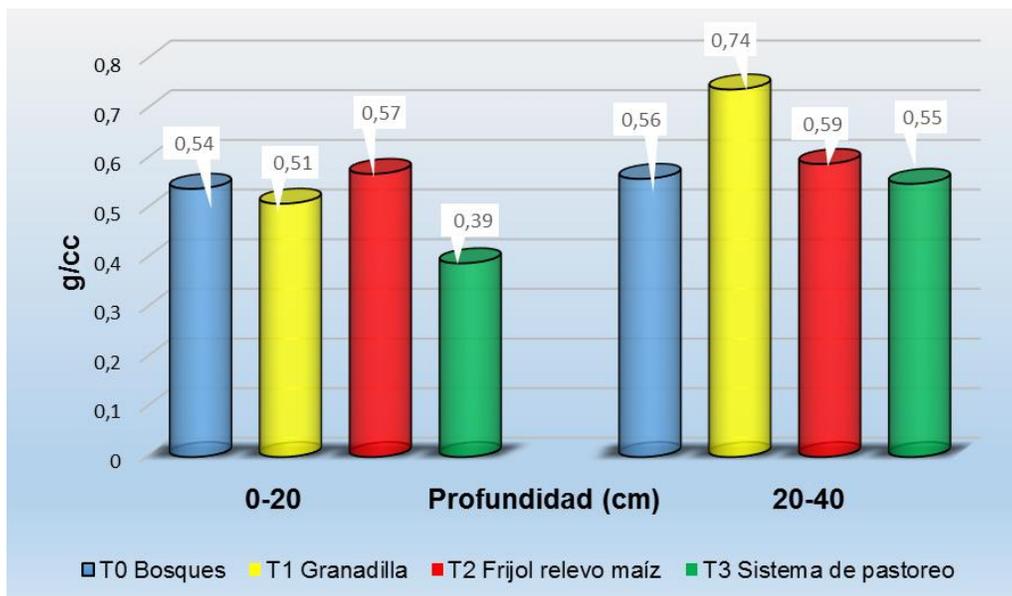
Tabla 4. Análisis de varianza para las variables físicas y química en suelos de la vereda Bella Vista en agricultura convencional, sistemas de pastoreo y bosques.

Valor – P		
Variables	Profundad (cm)	
	0 - 20	20 – 40
Densidad Aparente (g/cc)	0,4147	0,0044
Densidad Real (g/cc)	0,0250	0,0022
Porosidad (%)	0,5054	0,0182
Humedad Gravimétrica (%)	0,3745	0,1049
Humedad Volumétrica (%)	0,1673	0,1701
Ph	0,4367	0,0368

7.1 Densidad aparente. Es la densidad del suelo que se calcula teniendo en cuenta el espacio ocupado por los poros al cuantificar el volumen de la muestra de suelo, razón por la cual depende de la organización que presente la fracción sólida del mismo y está afectada por su textura, su estructura, su contenido de materia orgánica, su humedad (en especial en suelos con materiales expansivos) y su grado de compactación, principalmente. En términos prácticos, es la densidad que tiene la tierra fina del suelo, con la organización que ella posea (Jaramillo, 2002).

Al analizar la (Figura 16), se observa que el promedio de la densidad aparente de los diferentes tratamientos a una profundidad de 0 a 20 cm, presentaron los siguientes resultados. El tratamiento T2 (frijol relevo maíz) obtuvieron el valor más alto con un promedio de 0,57 g/cc, seguido por los tratamientos T0 (bosque), T1 (granadilla) y por último T3 (sistema de pastoreo) con valores de 0,54; 0,51 y 0,39 g/cc respectivamente.

Figura 16. Promedios de la densidad aparente en los tratamientos.



A la profundidad de 20-40 el tratamiento T1 (granadilla) obtuvo el valor más alto con un promedio de 0,74 g/cc, seguido por los valores 0,59; 0,56 y 0,55 g/cc de los tratamientos T2 (frijol relevo maíz), T0 (bosque) y T3 (sistema de pastoreo).

De lo planteado se puede afirmar que los valores más altos de densidad aparente los presentan los suelos a la profundidad de 20 a 40, pero en los dos casos esta fue menor a 1.0 g/cc, de lo que se puede afirmar que los suelos estudiados tienen buenas propiedades, ya que los valores bajos de densidad aparente son un buen indicador de propiedades importantes del suelo, como son: mínima compactación, alta porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración buena, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo (Rubio, 2010).

También es importante determinar que los valores más bajos encontrados en los suelos pertenecen a tratamiento T3 (sistemas de pastoreo) a las dos profundidades, valores que pudieron verse afectados por la presión que ejerce el ganado en el suelo; pero determinados por otros factores, como por ejemplo el estiércol (materia orgánica); que al respecto, Thompson (2002) manifiesta que el estiércol proporciona materiales orgánicos que ejercen una influencia favorable sobre la estructuración del suelo. El estiércol aumenta la agregación de las partículas del suelo y reduce la densidad aparente.

La materia orgánica en equivalencia de volúmenes, es mucho más ligera que la materia mineral y en segundo lugar, incrementa la estabilidad de los agregados del suelo. Este último efecto es, con mucho, el más importante en la mayoría de los

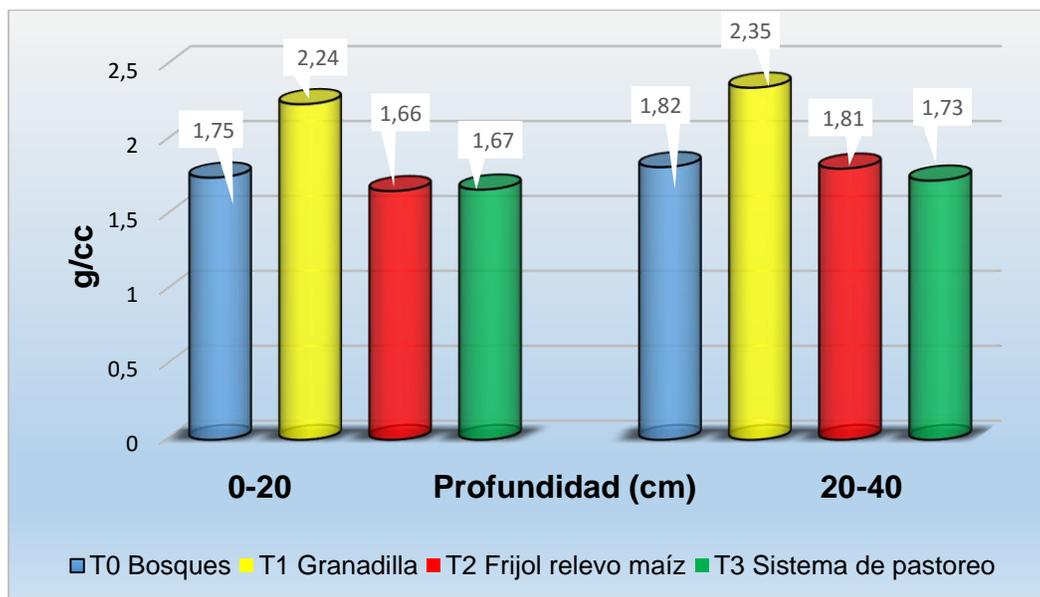
suelos, pero ambos contribuyen a proporcionar una menor densidad aparente a los suelos ricos en materia orgánica (Ingaramo *et al*, 2003).

Se encontró que la Da más alta a la profundidad de 0 a 20 cm es la del tratamiento T2 (frijol relevo maíz) y la profundidad de 20 a 40 es la del tratamiento T1 (granadilla), al respecto (Sánchez, *et al* 2003) aseguran que la variación de la Da está asociada con las prácticas de manejo sobre los suelos generando cambios en esta propiedad.

7.2 Densidad real. Es también llamada densidad de las partículas y corresponde a la densidad de la fase sólida del suelo es decir no incluye espacios porosos. Su valor es constante y no varía con la cantidad de espacio entre sus partículas, se deduce, entonces, su dependencia de la composición mineral del suelo y del contenido de algunos sólidos especiales en él, como la materia orgánica y los óxidos de hierro (Jaramillo, 2002).

El análisis de esta propiedad en los diferentes tratamientos mostró que se presentaron diferencias significativas de esta variable. A la profundidad de 0 a 20 cm y 20 a 40cm, el tratamiento T1 (granadilla) presentó el promedio más alto con 2,24 y 2,35 g/cc seguido por los tratamientos T0 (bosque), T2 (frijol relevo maíz) y T3 (sistema de pastoreo), valores más o menos constantes, ya que esta propiedad está determinada por la composición química y mineralógica de la fase sólida (Heredia, 2011) (Figura 17).

Figura 17. Promedios de la densidad real en los tratamientos.



De igual forma Thompson (2002) afirma que, si la densidad real es muy inferior a 2,65 g/cc, se puede determinar que el suelo posee un alto contenido de materia orgánica, situación que es la que se presenta en la investigación, ya que todos los suelos evaluados de los cuatro sistemas arrojaron presencia de materia orgánica en un promedio de porcentaje leve y fuerte.

La situación anterior descrita es considerada normal ya que de acuerdo con lo expresado por Henríquez y Cabacelta (1999), esta propiedad presenta una baja variabilidad con relación a la densidad aparente. Al respecto Barrera (1993) manifiesta que esta propiedad no es afectada ni por la estructura ni por la textura del suelo y depende solo del peso de materiales que lo constituyen.

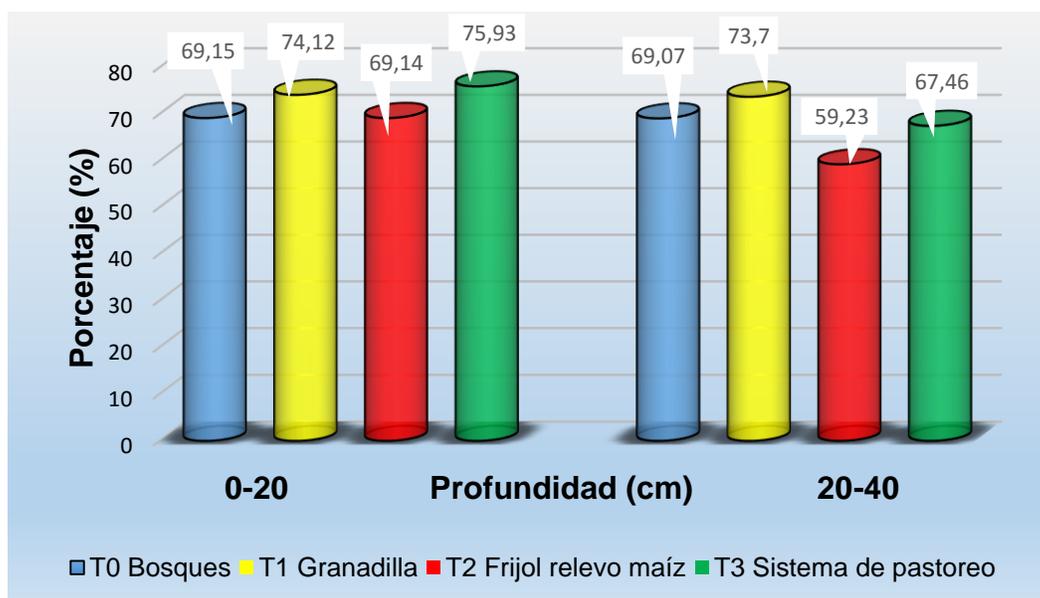
Por lo planteado es válido afirmar que el contenido de los distintos elementos constituyentes de estos suelos, es el que determina las variaciones de su densidad real, por lo que la determinación de este parámetro permite por ejemplo estimar su composición mineralógica, difícil de alterar, ya que esta variable se relaciona con las características del material parental, Sin embargo, la erosión y excesiva compactación puede lograrlo en el largo plazo (Herida, 2011).

7.3 Porosidad. La porosidad, se expresa como el porcentaje del volumen del suelo ocupado por poros. O lo que es lo mismo, el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. Determina la capacidad del suelo para almacenar agua o aire, siendo un parámetro muy relevante para el desarrollo y supervivencia de las plantas y para la actividad biológica del suelo. Puede calcularse a partir de los valores de densidad aparente (D_a) y densidad real (D_r), (Jaramillo, 1994).

El promedio más alto de porosidad en la profundidad de 0 a 20 cm es de 75,93% valor que corresponde a tratamiento T3 (sistemas de pastoreo), seguido por el tratamiento T1 (granadilla) con un valor de 74,12% y por último el tratamiento T0 (bosques) y T2 (cultivos de frijol relevo maíz) con valores de 69,15 y 69,14% respectivamente.

Mientras que en la profundidad de 20 a 40 cm los valores fueron 73,7% en el tratamiento T1 (granadilla), 69,07 y 67,46% para los tratamientos T0 (bosques), T3 (sistemas de pastoreo) y por último T2 (frijol relevo maíz) con un promedio de 59,23 (Figura 18).

Figura 18. Promedios de porosidad en los tratamientos.



Con respecto a que la porosidad más alta en la profundidad de 0 a 20 cm se presentó en los sistemas de pastoreo, Rubio & Lavado (1990) citados por Taboada y Micucci (2009), afirman que los períodos de descanso prolongado con pastoreo rotativo mantienen la porosidad edáfica en rangos similares a los hallados en áreas excluidas del pastoreo por varios años.

Huerta, (2010), afirma que se puede distinguir macroporos y microporos. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo, además, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas. La porosidad total o espacio poroso del suelo, es la suma de macroporos y microporos. Las características del espacio poroso, dependen de la textura y la estructura del suelo (Huerta, 2010).

Por lo planteado anteriormente, los microporos son los encargados de la retención de agua, por esta razón se puede determinar que la porosidad de los suelos de los sistemas de pastoreo tienen más porcentajes de microporos que macroporos, lo que permite que estos suelos tengan mayor retención de humedad.

Las porosidades según la tabla de estimativos son clasificadas como excelentes y excesivas (Tabla 5).

Tabla 5. Calificación de la porosidad total del suelo.

Porosidad total (%)	Clasificación
> 70	Excesiva
55 - 70	Excelente
50 - 55	Satisfactoria
40 - 50	Baja
< 40	Muy baja

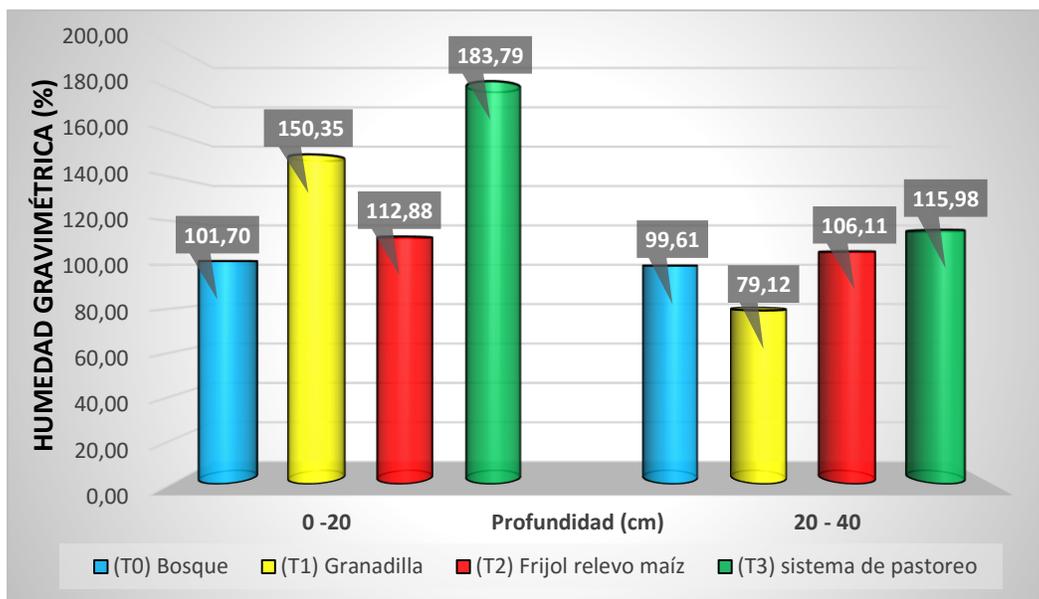
En cuanto al valor en promedio de porosidad más alto obtenido en el tratamiento T3 (sistemas de pastoreo) de 75,93%, se relaciona con el promedio de la densidad real obtenida en este tratamiento que fue la más baja con un valor de 1,70 g/cc lo cual indicaba un suelo con una alta porosidad clasificada como excesiva, mientras que en el T0 (bosque) el valor más bajo fue de 59,23%, lo que indica un suelo que se encuentra con una porosidad excelente.

Al respecto Jaramillo (1994) afirma que los suelos con porcentajes de porosidad que se encuentren en los rangos 55-70 % con una clasificación (excelente) tiene importancia especial porque constituye el medio por el cual el agua penetra al suelo y pasa a través de él para abastecer a las raíces y finalmente drenar el área; y también el espacio donde las raíces de las plantas y la fauna tienen una atmósfera, es decir, constituye la fuente de donde aquéllos obtienen el aire.

7.4 Humedad gravimétrica. La cantidad de agua que posee el suelo es una de sus características más específicas y está determinada fundamentalmente por su textura su contenido de materia orgánica, la composición de sus fracciones mineral y orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico por el aporte que se le haga natural o artificialmente de ella así como por el consumo causado por la evapotranspiración (Jaramillo 2002).

El análisis realizado para esta variable permitió determinar los siguientes resultados como se observa en la Figura 19.

Figura 19. Promedio de humedad gravimétrica en los tratamientos.



Los valores promedios para la humedad gravimétrica en las dos profundidades son los siguientes. En la profundidad (0 a 20 cm) el valor más alto se presentó en el T3 (sistemas de pastoreo) con un valor de 183,79 % seguido de T1 (granadilla) con 150,35 %, y los tratamientos T2 (frijol relevo maíz) y T0 (bosques secundarios) con 112,88 % y 101,70 % respectivamente; en la profundidad (20 a 40 cm) el valor más alto se presentó en el tratamiento T3 (sistemas de pastoreo) 115,98 % seguido por T2 (frijol relevo maíz) con un valor de 106,11%, T0 (bosques secundarios) con un valor de 99,61 % y T1 (granadilla) con un valor de 79,12 %.

La humedad gravimétrica de los tratamientos, a la profundidad de 0 a 20 cm, supero el ciento por ciento. Aunque es preciso establecer que los sistemas de pastoreo tienen un mayor porcentaje de humedad en las dos profundidades, esto se debe a la presión que ejerce el ganado en el suelo, lo que causa que esté se vaya compactando a través de los años y por ende la humedad sea superior.

De lo planteado anteriormente Jaramillo et al (1994) afirma que a medida que se va compactando el suelo, también se va incrementando el contenido de humedad en él; esto se debe, probablemente, a que la compactación ejercida disminuye el tamaño natural de los poros, mejorando la capacidad de almacenamiento de agua por parte del suelo.

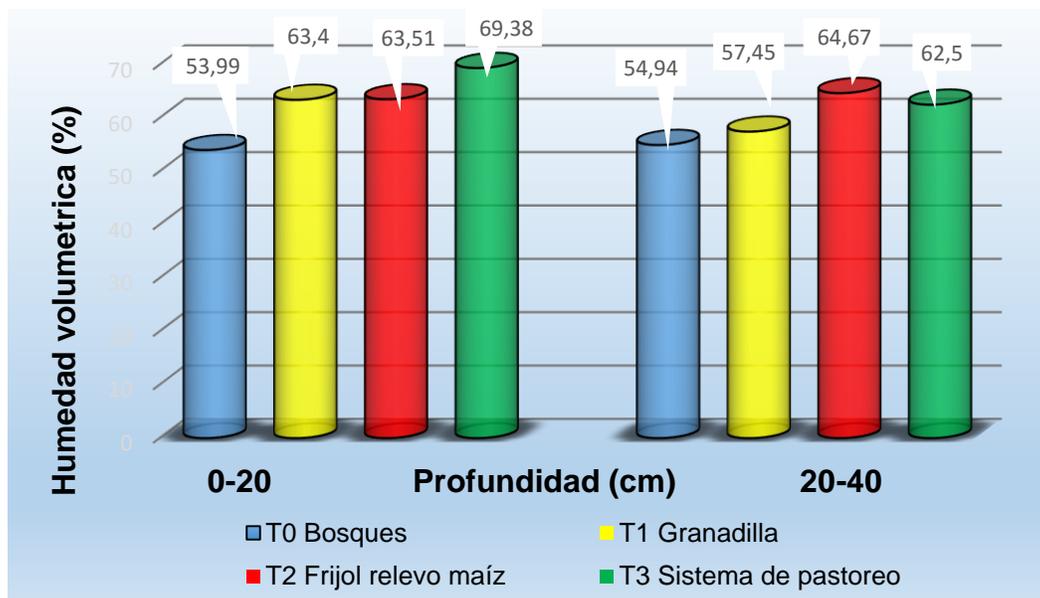
También se puede afirmar que los sistemas ganaderos tuvieron mayor porcentaje de humedad debido a que estos tienen una mayor presencia de materia orgánica. Con respecto a la influencia que tiene el contenido de materia orgánica sobre el contenido de humedad del suelo, Jaramillo (2002) establece que la cantidad de agua en el suelo, aumenta linealmente al aumentar su contenido de arcilla y/o de materia orgánica, conservándose constantes las fuerzas de retención.

Es importante destacar que los muestreos de la investigación se realizaron en los meses de agosto, septiembre y octubre época de mayor precipitación en la zona por lo tanto existen valores mayores del 100 %.

7.5 Humedad volumétrica. La humedad volumétrica H_v (%) puede ser expresada como una lámina de agua, es decir, como el espesor que tendría esa cantidad de agua si se extendiera formando una capa continua de agua. La humedad volumétrica es importante para evaluar la retención de humedad en suelos, en suelos aluviales y en suelos derivados de cenizas volcánicas (Huertas, 2010).

En la siguiente grafica se presenta los valores promedio de la humedad volumétrica en los diferentes tratamientos y en las 2 profundidades, dándonos como resultado el valor más alto de la profundidad de 0-20 cm en los sistemas de pastoreo con 69,38% y en la profundidad de 20-40 cm en el sistema de frijol relevo maíz con un valor de 64,67%, posiblemente se deben a que como lo afirma Casanova (2004), la alta cantidad de materia orgánica, ayuda a que los índices de saturación aumenten considerablemente, mientras que en los bosques, por lo general, se ve influenciada el bajo porcentaje de humedad, por la evapotranspiración ya que estos devuelven mayores cantidades de agua a la atmósfera, de manera que el suelo retiene menos agua (Figura 20).

Figura 20. Promedio de humedad volumétrica en los tratamientos.



Los contenidos de humedad tienen altas correlaciones entre la Da y la MO, que pueden observarse en el comportamiento promedio de estas características en los suelos de los sistemas de pastoreo. Los suelos que presentan los mayores valores

de Da como en los bosques, son aquellos que tienden a mostrar menores contenidos de MO y retienen menos humedad. A medida que se incrementan los contenidos de MO, disminuyen los valores de la Da y aumenta la retención de agua disponible para las plantas. Este efecto benéfico de la MO se debe a que la agregación del suelo facilita el flujo de aire, retiene la humedad, disminuye la resistencia a la penetración y por ende, mejoran las condiciones físicas para el crecimiento de las raíces (Jiménez, 2005).

7.6 Estabilidad de agregados. Se realizó un análisis de distribución de tamaño de agregados haciendo un tamizado con suelo seco en una tamizadora mecánica (Shaker), que permitió separar los agregados que componen el suelo en varios grupos por tamaño y establecer el porcentaje que corresponde a cada grupo (Anexo B).

Para posteriormente realizar la calificación de diámetro ponderado medio (Tabla 6).

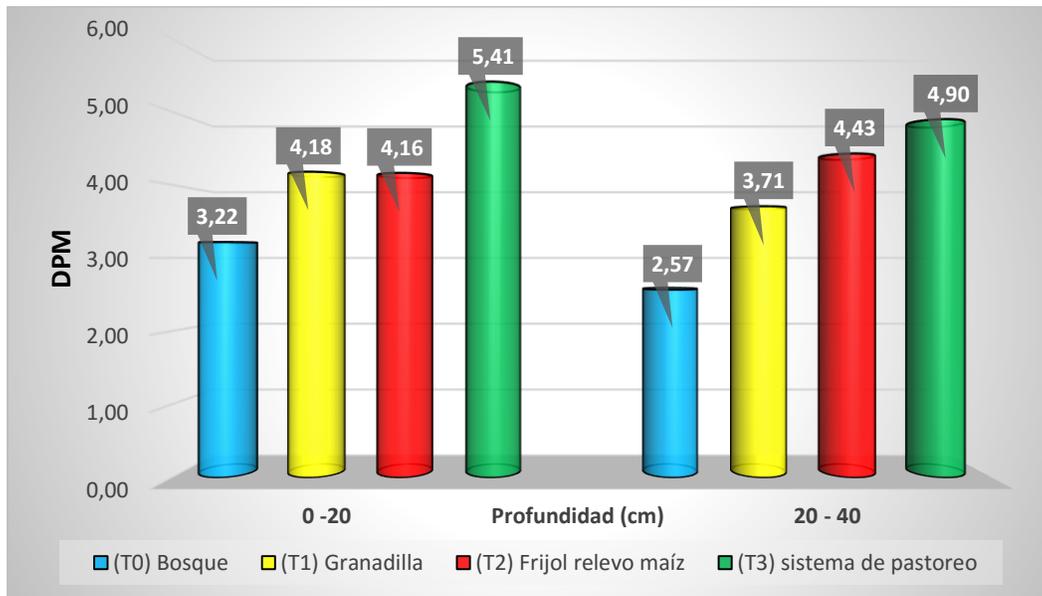
Tabla 6. Calificación Diámetro Ponderado Medio

DPM (mm)	Estabilidad Estructural
< 0.5	Inestable
0.5 – 1.5	Ligeramente estable
1.5 – 3.0	Moderadamente estable
– 5.0	Estable
>5.0	Muy estable

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2009.

Al realizar el análisis de los resultados promedios, a la profundidad de 0 a 20 cm el tratamiento T3 (sistemas de pastoreo) presento un DPM de 5,41 SI, esta muestra de suelo presenta una estabilidad estructural muy estable, seguido por T1 (granadilla), T2 (frijol relevo maíz) y T0 (bosques) con DPM de 4,18; 4,16 y 3,22 SI respectivamente, presentando una estabilidad estructural de estable para los tres tratamientos. En la profundidad 20 a 40 cm, el T3 (sistema de pastoreo) con 4,90 SI con una estabilidad estructural estable, seguido por T2 (frijol relevo maíz), T1 (granadilla) y T0 (bosques) con 4,43; 3,71 y 2,57 SI respectivamente con estabilidad estructural estable para T2 (frijol relevo maíz) y T1 (granadilla) y una estabilidad estructural moderadamente estable para T0 (bosques). La Figura 21, muestra la distribución de la estabilidad de agregados y su comportamiento respecto al índice de estabilidad (DMP) de acuerdo a cada tratamiento y profundidad evaluados.

Figura 21. Promedio estabilidad de agregados en los tratamientos.



En general se puede considerar que los suelos de los diferentes tratamientos, presentan buena estabilidad de agregados debido a que sus valores presentan una estabilidad muy estable, estable y moderadamente estable con rangos que oscilan entre 2,57 y 5,41 DMP.

Estos valores son el producto del alto contenido de materia orgánica que presentan los suelos de los diferentes tratamientos, los cuales guardan proporción directa con la estabilidad estructural, por lo anterior, los suelos con niveles más altos de materia orgánica desarrollan agregados de mayor tamaño y por consiguiente mejores características (Siavosh *et al.*, 2000).

También es preciso determinar que la no alteración de la estabilidad estructural, guarda estrecha relación con el contenido de materia orgánica y con la porosidad ya que de acuerdo a lo expresado por Cairo y Fundora (1994) citado por Ordoñez (2007), si la porosidad disminuye con el tiempo de uso, resulta que hay alteración de la estructura del suelo, pero si la variación de la porosidad es poca, no hay alteración notable de la estructura y esta se mantiene a pesar de las inclemencias climáticas, laboreo de los suelos, el pastoreo entre otros aspectos.

Al respecto Jaramillo (2012), establece que la estabilidad estructural de los suelos inceptisoles o de origen de cenizas volcánicas en general son estables, cuando están en pendientes planas, no obstante, cuando poseen pendientes fuertes y reposan sobre rocas metamórficas especialmente del tipo esquistos, rocas volcánicas como las andesitas y lavas volcánicas, comunes en la montaña alta, se

convierte en un medio muy inestable, causando frecuentes fenómenos de remoción en masa.

7.7 Conductividad hidráulica. O permeabilidad es una medida de la capacidad del suelo para conducir el flujo de agua a través de sus poros en condiciones de saturación.

Matemáticamente, se define como el factor de proporcionalidad de la ley de Darcy aplicada al flujo del agua cuando el gradiente hidráulico es la unidad (Delgado, 2010), (Tabla 7).

Tabla 7. Clasificación de la Conductividad Hidráulica.

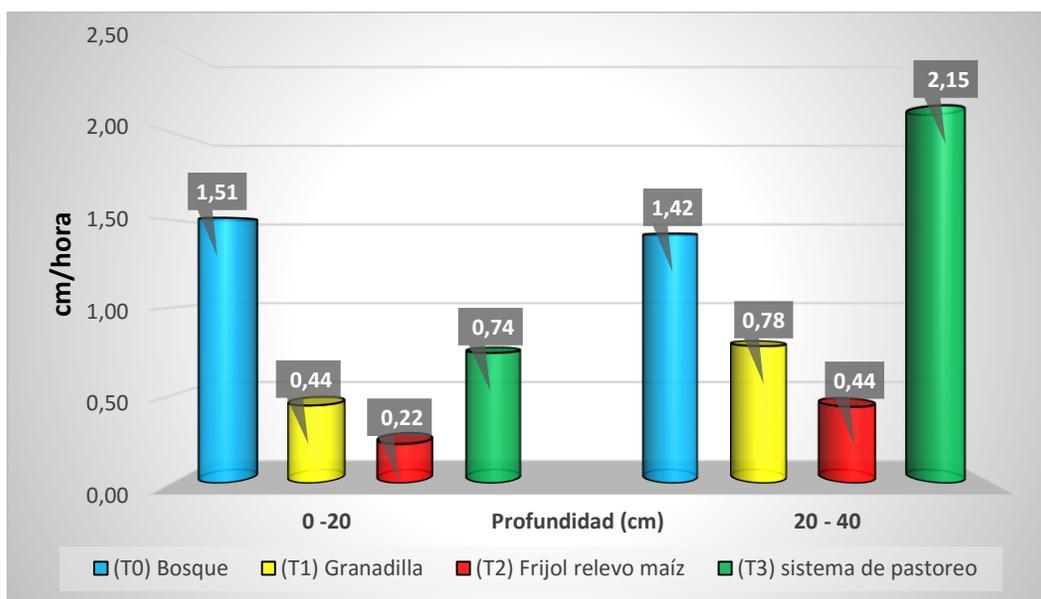
Conductividad (cm/hora)	Interpretación
< 0.1	Muy lenta
0.1 – 0.5	Lenta
0.5 – 1.6	Moderadamente lenta
1.6 – 5.0	Moderada
5.0 – 12.0	Moderadamente rápida
12.0 – 18.0	Rápida
>18.0	Muy rápida

Fuente: Física de suelos. IGAC. 1990.

Después de analizar los resultados promedios, (Anexo C). A la profundidad de 0 a 20 cm el tratamiento To (bosque) presento una conductividad hidráulica de 1,51 cm/hora la cual está clasificada como moderadamente lenta, seguido por el tratamiento T3 (sistemas de pastoreo), T1 (granadilla) y por último T2 (frijol relevo maíz), con valores de 0,74 como moderadamente lenta, 0,44 y 0,22 cm/hora clasificados como permeabilidad lenta respectivamente.

A la profundidad de 20 a 40 cm el tratamiento T3 (sistema de pastoreo) presentó un valor de conductividad hidráulica de 2,15 cm/hora con una clase de permeabilidad moderada, seguido por los tratamientos T0 (bosque) con un valor de 1,42 cm/hora como moderadamente lenta, T1 (granadilla) con un valor de 0,78 cm/ hora como moderadamente lenta y por último T2 (frijol relevo maíz) con un valor de 0,44 cm/hora como lenta (Figura 22).

Figura 22. Promedio conductividad hidráulica en los tratamientos.



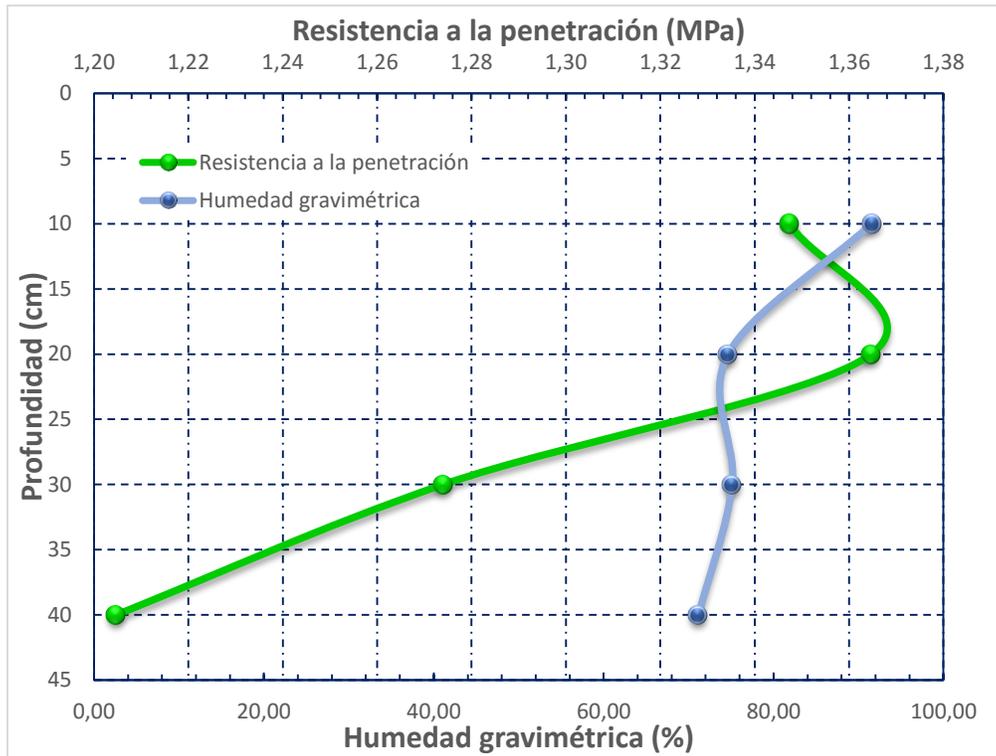
De acuerdo a los valores determinados en los suelos muestreados para conductividad hidráulica, el promedio en general se clasifica como lenta y moderadamente lenta, lo que puede ocasionar que durante fuertes precipitaciones se presenten problemas de erosión hídrica debido a que esta baja conductividad hidráulica favorece la circulación de agua por encima del suelo aumentando la escorrentía (Corpoica, 2007).

También es pertinente determinar que los tratamientos T0 (bosques) y T3 (sistemas de pastoreo) presentaron la mejor conductividad hidráulica, esto se puede relacionar a que estos obtuvieron la mejor densidad aparente, buena estabilidad estructural y presencia de materia orgánica. Al respecto Jaramillo (2002) afirma que los suelos con buena estructura tienen mayor velocidad de infiltración que los compactados, el mayor contenido en materia orgánica aumenta el agua retenida por el suelo y como es lógico, a mayor espesor del suelo mayor capacidad de retener agua.

7.8 Resistencia a la penetrabilidad (RP). La resistencia o impedancia mecánica del suelo (RP), medida con un penetraógrafo, ha sido correlacionada con penetración de raíces. Taylor, *et al.*, (1966), citados por Valenzuela y Torrente (2013), demostraron que esta relación fue la misma para un alto rango de tipos de suelos, contenido de humedad y densidad aparente, lo cual sugiere que se trata de una relación fundamental. Esta propiedad se determinó en campo con la ayuda de un penetraógrafo.

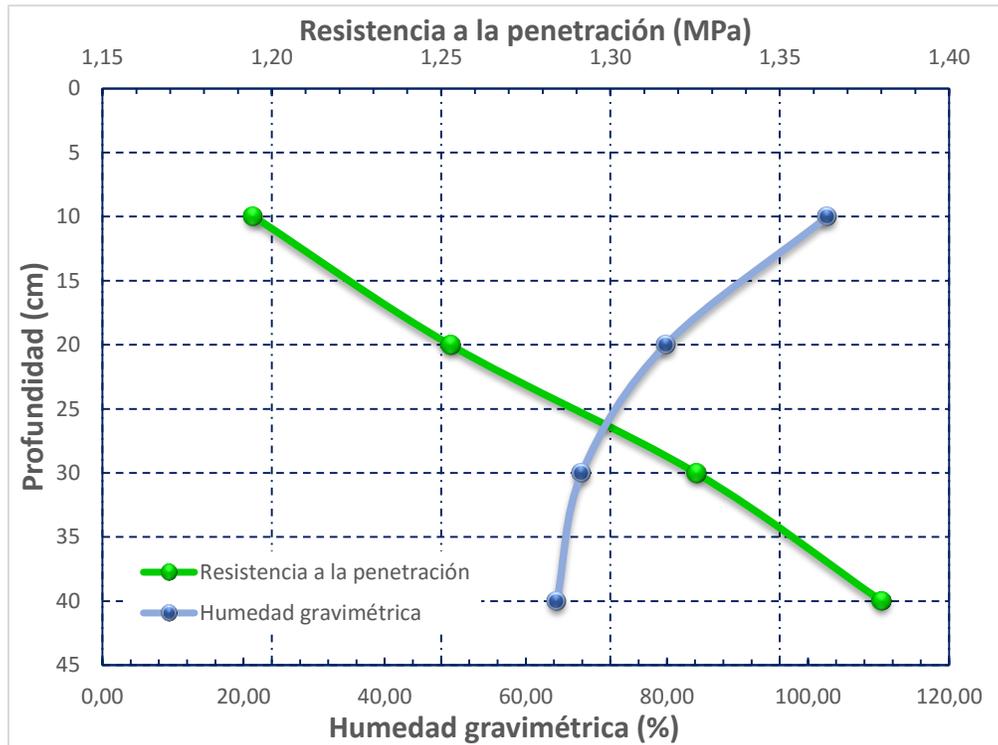
La variación de penetrabilidad en los diferentes tratamientos a las profundidades evaluadas (Anexo D). Se sintetizó en las figuras siguientes (Figura 23, 24, 25, 26)

Figura 23. Resistencia a la penetrabilidad en los bosques secundarios (T0).



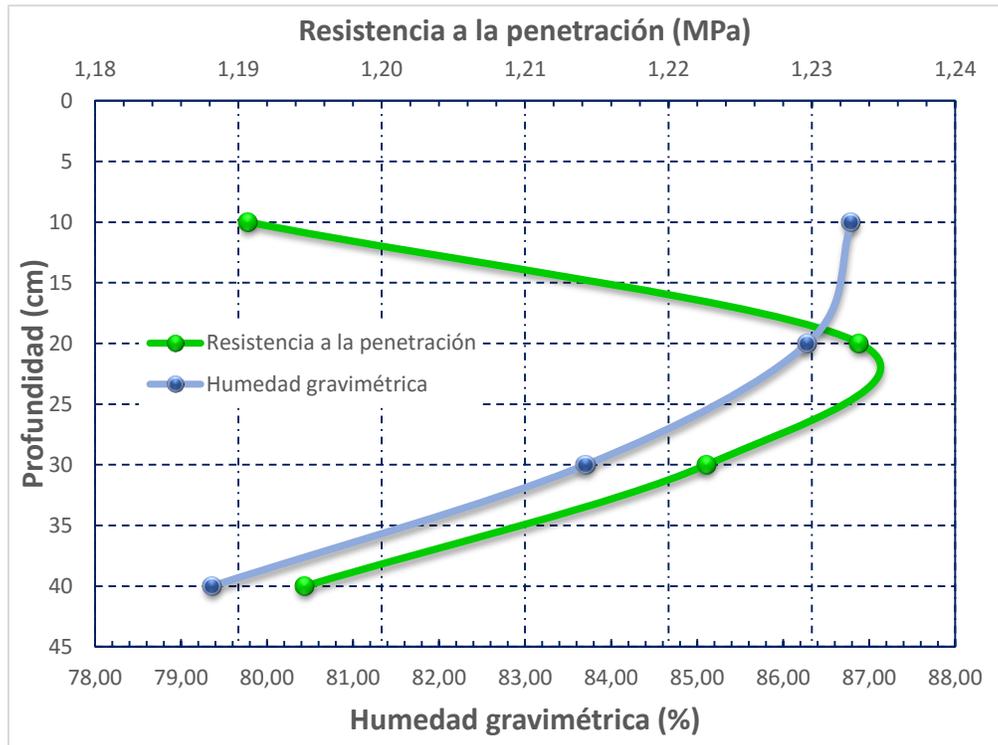
De la gráfica se puede analizar que en los bosques a profundidad de 10 cm se tuvo un promedio a RP de 1,35 MPa y a 20 cm de 1,36 MPa, esto obedeciendo a que el desarrollo radicular de la vegetación existente ejerce presión de amarre sobre el suelo y aprovechan los bosques el agua disponible en el suelo a mayores profundidades, utilizándola en el proceso de transpiración (Lee, 1980 citado por Huber *et al.*, 1985). Obteniendo así que en las profundidades entre los 30 y 40 cm su RP disminuye a 1,27 y 1,20 MPa esto se debe a que hay mayor dispersión y disminuye agrupación y amarre entre las raíces cuando su profundidad es mayor.

Figura 24. Resistencia a la penetrabilidad en monocultivos de granadilla (T1).



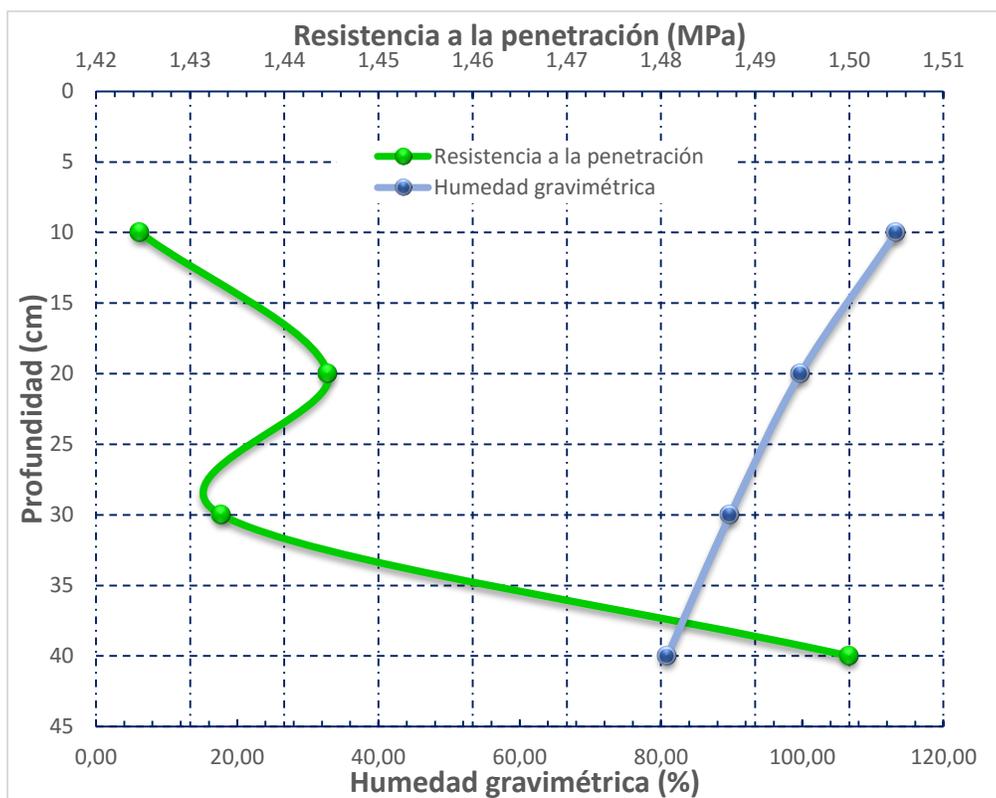
En el sistema de monocultivo de granadilla se pudo observar que a mayor profundidad la RP aumenta, siendo así, en las profundadas 10, 20, 30 y 40 cm la RP que se obtuvo fue con un promedio de 1,19, 1,25, 1,33 y 1,38 MPa esto se debe a que los monocultivos de granadilla son un bejuco trepador y enredador semileñoso, sus raíces son fibrosas ramificadas y fasciculadas (son las raíces que no tienen una raíz principal, ya que todas presentan el mismo grosor) y son poco profundas de la cual se derivan muchas raíces secundarias, las cuales se encuentran en los primeros 40 cm del suelo (Villalba *et al.*, 2006). Esto nos permitió analizar que por la cantidad de ramificación que tienen las raíces secundarias en este tratamiento tiende a tener mayor proporción y cantidad de raíz y la RP amplifica entre 0,05 y 0,08 MPa en los 10 a 40 cm de profundidad.

Figura 25. Resistencia a la penetrabilidad en monocultivos de frijol relevo maíz (T2).



De la gráfica del sistema de frijol relevo maíz se puede observar un comportamiento promedio del cual la RP en los primeros 10 cm de profundidad tuvo un valor de 1,19 MPa el cual aumento hasta 1,23 MPa a profundidad de 20 cm esto quiere decir que en general, el sistema radical es superficial, ya que el mayor volumen de raíces se encuentra en los primeros 20 centímetros de profundidad del suelo. Aunque generalmente se distingue la raíz primaria, el sistema radicular tiende a ser fasciculado, fibroso en algunos casos, pero con una amplia variación incluso dentro de una misma variedad (Arias *et al.*, 2007). Después desciende hasta 1,22 MPa a los 30 cm por los escasos y presencia de raíces y a los 40 cm sigue descendiendo hasta 1,19 MPa del cual vuelve a su estado normal donde se tomó la primera lectura.

Figura 26. Resistencia a la penetrabilidad en sistemas de pastoreo (T3).



En los sistemas de pastoreo se pudo observar que el peso que ejerce el animal por medio de la pesuña del mismo, ha hecho al suelo tenga un mayor grado de RP y compactación, en los primeros 10 cm nos dio como resultado de 1,42 MPa aumentando a los 20 cm a 1,44 MPa por la presión que se le ejerce al suelo al momento del pisoteo del ganado, disminuye un poco a 1,43 MPa por la presencia de las raíces de los pastos y luego aumenta a 1,50 MPa por la acción de presión de tantos años uso para la ganadería en estos suelos. De acuerdo a Baver *et al*, (1973) y Forsythe (1980), citados por Ruiz (1999) afirma, que los valores de resistencia a la penetración están influenciados por la humedad debido a que esta propiedad es un factor determinante en la toma de lecturas, obedeciendo a que en un proceso de desecación las partículas del suelo se acercan unas a otras ocasionando un aumento en el valor de resistencia del suelo.

Como se observa, el valor relativamente elevado de RP fue en el sistema de pastoreo con 1,50 MPa. Los valores críticos son variables y dependen del tipo de planta y de las características y propiedades del medio edáfico. Según Atwell (1993), con RP superiores a 2 MPa se reduce significativamente el crecimiento de las raíces de la mayoría de las especies cultivadas. En tal caso este tratamiento tiene problemas de compactación pero no se obtiene problemas en el crecimiento radicular en las plantas.

Los valores de RP tal como se muestran en las Figuras 23, 24, 25, 26, oscilaron desde 1,19 hasta 1,50 MPa en todos los tratamientos a las diferentes profundidades evaluadas. Donde en la primera profundidad 0-20 cm: el menor valor fue de 1,19 MPa presente en monocultivos de granadilla (T1) y monocultivos de frijol (T2) con una humedad en T1 comprendida entre 79,88 a 102,79%, y en T2 entre 86,28 a 86,80% y los valores más altos dieron en sistemas de pastoreo (T3) y bosque secundario (T0) con 1,44 y 1,36 MPa y humedades que variaron de 113,32 a 99,74% y 74,62 a 91,62% respectivamente.

A profundidad de 20-40 cm, se evidenciaron variaciones de RP, donde los valores de monocultivos de frijol (T2) y bosque secundario (T0) descendieron hasta 1,19 y 1,20 MPa con humedades entre 79,36 a 83,71% y 71,16 a 75,12, el tratamiento T2 presentó un comportamiento similar en las profundidades de 0-20 y 20-40 cm, y en los tratamientos sistemas de pastoreo (T3) y monocultivos de granadilla (T1) se obtuvo el mayor valor de RP con 1,50 y 1,38 MPa y humedades de 80,91 a 89,81% en T3 y 64,43 y 67,97 en T1. Lo cual indica que la penetrabilidad es de baja a media, con mínimas limitaciones para el desarrollo de raíces de acuerdo con Ruíz (1999) el cual se encuentra en la (Tabla 8).

Esto se debe a que la acción de presiones, en una masa de suelo puede comprimirse, disminuyendo su volumen, modificándose el número y tamaño de los poros y aumentando la densidad aparente. Este proceso se conoce como compactación. Los cambios que ocurren establecen condiciones desfavorables para la conductividad hidráulica y la difusión de gases en la capa afectada. Todo el conjunto de disfunciones afecta el crecimiento de las plantas, en principio porque comprometen el desarrollo radical al aumentar la resistencia del suelo a ser horadado por las raíces (Atwell, 1993).

La condición física de los suelos bajo pasturas es afectada, entre otros factores, por las operaciones de laboreo y por el pastoreo directo. Esto último incluye al pisoteo animal, que es la presión mecánica ejercida por el ganado sobre el suelo, el pasto y la cobertura vegetal. El efecto es más severo en lugares donde el pisoteo se reitera con alta frecuencia y la humedad edáfica es elevada. Si el contenido de humedad del suelo es alto, el impacto de la pezuña suele provocar deformación superficial (Sosa *et al.*, 1995), generando aumento en la densificación y disminuciones de la porosidad, la estabilidad estructural y la capacidad de infiltración (Denoia *et al.*, 2000).

La medida de la resistencia a la penetración (RP) es una vía sencilla para detectar los cambios en el perfil que pueden relacionarse con la exploración de las raíces (Pires *et al.*, 2003). La variación espacial de la RP es más apropiada que la densidad aparente en la determinación de capas limitantes al crecimiento radical, porque presenta mayor sensibilidad en la detección de sectores diferenciados en grados de compactación (Collazo, 2004).

Tabla 8. Interpretación de resistencia a la penetración (MPa).

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (MPa)			
Resistencia	Estimativo	Resistencia	Limitación
0 – 0.5	Muy bajo	Menor 1.0	Ninguna
0.5 – 1.0	Bajo	1.0 – 1.5	Ligera
1.0 – 1.5	Media	1.5 – 2.0	Moderada
1.5 – 2.0	Alta	2.0 - 2.5	Severa
2.0 - 2.5	Muy alta	Mayor 2.5	Extrema
Mayor 2.5	Extrema		

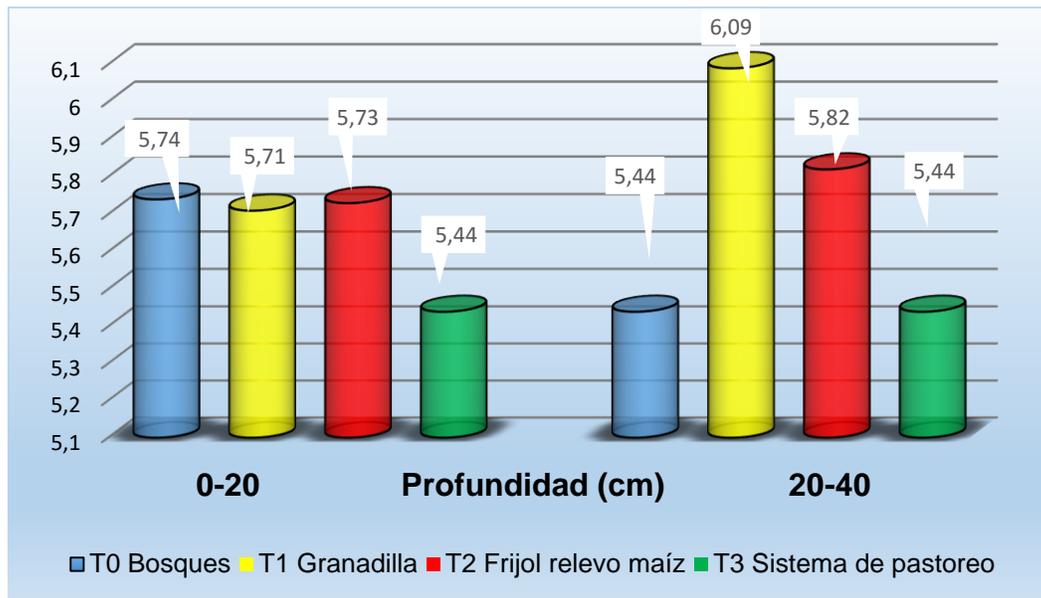
Fuente: Ruiz (1999).

7.9 pH

El pH del suelo es una de las propiedades químicas más relevantes ya que controla la movilidad de iones, la precipitación y la disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes. La remoción de bases (calcio, magnesio, potasio) sin reposición del complejo de intercambio y acidificación de los suelos (Vázquez, 2005).

Al analizar la Figura 27, el pH encontrado presenta valores promedios que oscilan entre 5,44 y 5,74 a una profundidad de 0-20 cm, de la siguiente manera, el valor más bajo lo presenta el suelo del tratamiento T3 (Sistema de pastoreo) con 5,44, el más alto T0 (Bosque) con 5,74, por ultimo 5,71 y 5,73 para los tratamientos de T1 (Granadilla) y T2 para (Frijol relevo maíz) respectivamente.

Figura 27. Promedios de pH por tratamientos.



De lo anterior se puede establecer que los suelos de los tratamientos establecidos anteriormente, son suelos en su mayoría moderadamente ácidos ya que se encuentran entre un rango de 5.5 – 6.0, esto se genera por una pérdida de cationes básicos (calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) y una acumulación de cationes ácidos (aluminio (Al) e hidrógeno (H) (Gallardo y Borie, 1999).

El factor que condiciona la magnitud e intensidad del proceso de acidificación de estos suelos se debe a la alta precipitación que se presenta en el valle de Sibundoy. Campillo (2010), afirma que la alta caída pluviométrica que ocurre normalmente en la zona sur del país, provoca una Lixiviación o arrastre hacia el interior del perfil del suelo de las bases de intercambio. Este proceso, que ocurre lenta pero sostenidamente en el tiempo, determina un reemplazo de estas bases por los cationes ácidos (hidrógeno y aluminio), en la capa arable del suelo disminuyendo su pH.

Si se tienen en cuenta la clasificación del pH, los suelos pertenecientes al T3 (sistema de pastoreo) son fuertemente ácidos estando en un rango de 5.1 -5.5 y en este caso presentan el valor más bajo con un promedio general de 5,44 tanto a profundidad de 0-20 como 20-40, estos suelos de los sistemas de pastoreo tienen un nivel mayor de acidificación ya que estos tuvieron una mayor presencia de materia orgánica, la cual es una fuente de acidez de los suelos, puesto que el humus contiene grupos activos que se comportan como ácidos débiles liberando iones hidrógeno. La descomposición de los residuos orgánicos produce dióxido de carbono (CO₂), el cual se combina con agua para formar ácido carbónico y la disociación de este ácido débil proporciona otra fuente de acidificación del suelo (Campillo 2010).

Cuando los suelos tienen pH bajo o ácido, como en el caso de los sistemas de pastoreo, se produce una disminución de la capacidad del suelo para atraer cationes, los cuales, al estar presentes en la solución, podrán perderse fácilmente por el arrastre de las aguas lluvia.

El valor más alto se encuentra en el mismo rango de clasificación con un valor promedio de 5,74 que corresponde a T0 (Bosque secundario) respecto a esto según Zamboni, *et al.*, (2006) el pH de los bosques contiene una concentración del 15% de Ácidos húmicos y Ácidos fúlvicos de tal forma que los ácidos húmicos son los constituyentes principales de la materia orgánica vegetal cuando esta llega a un alto grado de descomposición.

Los valores promedios encontrados en la profundidad 20-40cm oscilan entre 5,44 y 5,82 para los tratamientos T0 (Bosque secundario), T2 (Frijol relevo maíz), T3 (Sistema de pastoreo) clasificándolos igualmente como moderadamente ácidos, excepto para los suelos del T1 (Granadilla), en donde se obtuvo un valor promedio de 6,09, clasificándolo como ligeramente ácido, esto debido a que en el sistema realizando consultas con los agricultores se aplican enmiendas calcarías lo que aumenta el pH de los suelos.

7.10 Materia Orgánica

La materia orgánica del suelo (MO) se ha definido como una mezcla heterogénea de residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición química de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente a partir de los productos de degradación, de los cuerpos de microorganismos vivos y muertos, pequeños y sus restos en descomposición (Schnitzer, 1991).

Los suelos analizados de cada tratamiento, tuvieron presencia de materia orgánica. Para T0 (Bosque secundario) la reacción fue ligera en las dos profundidades de 0-20cm y 20-40cm esto se debe a que en el bosque existen mayor cantidad de microorganismos que llevan a cabo el proceso de mineralización o transformación de la materia orgánica en nutrientes que son asimilados por las plantas es por ello que al analizar esta propiedad se encuentra en menores cantidades.

A diferencia de los suelos de los sistemas de pastoreo donde su reacción se encuentra clasificada como ligera en la profundidad de 20-40 cm y fuerte en la profundidad de 0-20 cm, esto se debe a que el contenido de materia orgánica en los suelos normalmente decrece en forma regular al aumentar la profundidad en el perfil; corrientemente, el contenido de materia orgánica es mayor en la parte superior del suelo, con valores, algunas veces, muy superiores a los que presentan en las partes más profundas (Jaramillo, 2002).

De lo anterior es válido establecer que en los sistemas de pastoreo la presencia de materia orgánica fue superior, gracias al estiércol que los animales aportan al suelo. Sosa (2005) afirma que los estiércoles además de que proveen nutrientes al suelo,

ejercen acciones positivas sobre un variado conjunto de propiedades edáficas. Fundamentalmente, porque pueden introducir mejoras considerables en el contenido y en la calidad de la materia orgánica.

En correspondencia con el beneficio que producen sobre la fracción orgánica, se ha demostrado que el estiércol es capaz de actuar positivamente sobre la condición física de los suelos. Logrado importantes disminuciones de la densidad aparente, lo que se refleja en los resultados obtenidos de D_a que fueron considerablemente bajos como también aumento de la porosidad total y de la estabilidad estructural y mejoras en la capacidad de almacenaje de agua del suelo.

Es necesario realizar prácticas intensivas como por ejemplo siembra en fajas o curvas de nivel incorporación de materia orgánica implementación de cultivos con follaje de cobertura y sistema radicular lento también es necesario que el suelo se base en sistemas agroforestales y silvopastoriles

Es necesario implementar o permitir que haya suelos con vocación protectora de vegetación natural permanente con importancia para el abastecimiento de agua mantenimiento de la vida silvestre o para propósitos estéticos y de investigación.

7.11 ALTERNATIVAS DE MANEJO AMBIENTAL PARA LOS SUELOS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Después de haber realizado el respectivo recorrido de campo, se tuvo en cuenta también los resultados de las propiedades físicas y químicas evaluadas en los suelos, para de esta manera establecer alternativas desde diferentes tipos de manejo del recurso suelo (Tabla 9).

Tabla 9. Alternativas de manejo ambiental para la conservación de suelos.

ALTERNATIVAS DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA CONSERVACIÓN DE SUELOS					
TIPOS DE ALTERNATIVAS	PRACTICA DE CONSERVACION DE SUELO	OBJETIVO:	ALTERNATIVAS	ACTIVIDADES	EFFECTOS SOBRE EL SUELO
	MEJORANDO SU ESTRUCTURA	Mejorar las condiciones de estabilidad estructural del suelo y disminuir la susceptibilidad a los fenómenos erosivos mediante prácticas sencillas de manejo.	1. Manejo de la cobertura vegetal.	*Recuperación de semillas y trasplante de plantas. *Revegetalización y establecimiento de plantaciones forestales	* Retención de las partículas del suelo y por ende menor erosión * Interceptación de las gotas de agua lluvia * Aumentar la capacidad de infiltración.
			2. Aplicación de materia orgánica.	*Elaboración de abonos orgánicos sólidos y líquidos	*Aprovechamiento de los residuos vegetales. *Mejorar propiedades físicas y químicas del suelo.
	MEDIANTE EL MANEJO DE COBERTURA VEGETAL.	Despertar en la comunidad el empleo de coberturas vegetales en sus prácticas agronómicas y ganaderas.	1. Ordenamiento de cultivos	* Implementación de cultivos limpios, cultivos de sombrero. * Implementación de pastos mejorados. * Áreas delimitadas de bosque.	*Disminuye problemas de compactación. * Evitan practicas convencionales. * Amarre del suelo.
2. Utilización de praderas			*Usar mezclas de leguminosas y gramíneas adecuadamente. * Rotación de potreros.	* Disipar el efecto de las gotas de lluvia. *Control de escorrentía. * Evita la carga de animales por unidad de área evitando sobrepastoreo.	

			3. Rotación de cultivos	* Implementar cultivos transitorios	*Aprovechamiento de nutrientes a distintas profundidades. *Control de plagas
			4. Siembra en curvas de nivel.	* Trazar las líneas de siembra siguiendo las curvas de nivel	* Evita la escorrentía. *Disminuye la velocidad del agua y por consiguiente el lavado de nutrientes.
	MEDIANTE EL MANEJO DE AGUAS.	Generar conciencia en el manejo y control del agua.	1. Acequias	* Capacitación para su construcción	* Interceptación de las aguas de escorrentía. * Evacuación de aguas en zona de pendiente. * Conduce el agua desde la parte alta del talud hasta la parte baja. *Disipa la energía del agua.
			2. Zanjas de coronación		

CONCLUSIONES

La densidad aparente de los suelos en los diferentes tratamientos, fluctuó entre 0,39 y 0,79 g/cc, la cual se la puede clasificar como una densidad baja, signo de buen funcionamiento del suelo, que permite mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo de raíces, equivale a más porosidad y mayores agregados del suelo, mayor estabilidad, menos compactación y mayor contenido de humedad.

En los suelos evaluados, la densidad real, se encuentra en un promedio de valores que fluctuaron entre 1,66 y 2,35 g/cc, valores que se vieron condicionados por la presencia de materia orgánica.

Los diferentes tratamientos presentaron buena estabilidad estructural de agregados con promedios que oscilan entre 2,57 y 5,41 DPM con una estabilidad muy estable, estable y moderadamente estable, esto gracias al contenido de materia orgánica que presentan los suelos, propiedad que guarda proporción directa con la estabilidad estructural.

La resistencia a la penetración puede ser usada como indicador de compactación, debido a las variables temporales y espaciales que presentaron los resultados con respecto al mayor promedio en RP y humedad, en el tratamiento de sistema de pastoreo (T3) fue de 1,50 MPa lo que indica que las mediciones realizadas por otros autores muestran que el valor límite para que el desarrollo radicular de las plantas y el suelo tengan problemas de compactación, degradación, erosión e impactos ambientales deben ser mayores a 2 MPa, esto nos indicó que en T3 existen algunos problemas de compactación pero no problemas en el crecimiento radicular de las plantas a diferencia en los distintos tratamientos que no tienen problemas en RP.

El promedio general de conductividad hidráulica se clasificó como lenta y moderadamente lenta, por tal motivo se puede determinar que los suelos presentan limitación para la infiltración del agua, lo que puede ocasionar que se presenten problemas de erosión debido a la circulación del agua por encima del suelo aumentando la escorrentía.

En general las propiedades físicas y químicas evaluadas, no fueron afectadas por las diferentes actividades antrópicas, por el contenido de materia orgánica que estos presentaron, ya que esta propiedad estuvo presente en todos los suelos analizados, el cual es un componente importante, ya que este modifica de forma positiva todas las propiedades del suelo.

En cuanto a las propiedades químicas como el pH se pudo establecer que se clasificaron en moderadamente ácidos, ligeramente ácidos, para la mayoría de tratamientos a las dos profundidades propuestas, esto se debe a distintos factores entre los cuales se encuentra las precipitaciones que aceleran el proceso de

acidificación de los mismos relacionando este resultado con materia orgánica otra propiedad química que resulto dominante aumentando el pH de dichos suelos.

RECOMENDACIONES

Es necesario realizar prácticas intensivas como por ejemplo siembra en fajas o curvas de nivel incorporación de materia orgánica implementación de cultivos con follaje de cobertura y sistema radicular lento también es necesario que el suelo se base en sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Es necesario implementar o permitir que haya suelos con vocación protectora de vegetación natural permanente con importancia para el abastecimiento de agua mantenimiento de la vida silvestre o para propósitos estéticos y de investigación.

Es necesario que en los diferentes tratamientos las prácticas de manejo, sean las adecuadas, que busquen disminuir impactos negativos al medio ambiente y por ende a los recursos naturales, entre ellas se podrían implementar, labranza mínima e incorporación de materia orgánica, utilizar barreras vivas para evitar la erosión, hacer siembras en contorno o a través de la pendiente para formar una barrera que disminuya la fuerza de arrastre del agua y su efecto en la pérdida del suelo, hacer rotación de cultivos y cultivar plantas fijadoras de nitrógeno entre los surcos del cultivo.

BIBLIOGRAFIA

Amezquita, c. 2004. Métodos para medir la biodiversidad. Universidad autónoma del estado de Hidalgo. 1 edición, Ed. CYTED. 83p.

Ansorena, J. 2004. La degradación del suelo. El suelo en la agricultura y el medio ambiente. Laboratorio agrario. 5 pág.

Arias, J., Jaramillo, M.; Rengifo, T. (2007). Manual técnico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble. ISBN 978-92-5-305827-3

Atwell, B. J. 1993. Response of roots to mechanical impedance. *Environmental and Experimental Botany* 33(1): 27-40.

Barrera. L. I. 1993. Suelos colombianos. Una mirada desde la academia. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Pág. 97-102.

Blanco, Rafael (2009). "La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo". *Agrociencia*. 43 (3): 231-239.

Bravo, C.; Lozano, Z.; Hernandez, R. M.; Piñango, L.; Moreno, L. 2004. Evaluación de las propiedades físicas del suelo en el manejo de ecosistemas en uso ganadero extensivo. *Biagro* 16(3): 163-172.

Burbano, H. 1989. El suelo: una visión sobre sus componentes biogénicos. Universidad de Nariño, Pasto Colombia. pp. 109-117.

Campillo, R. 2010, la acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados. Centro regional de investigación INIA Carillanca. 17 pág.

Cantú, M. Pablo, Analía Becker, José C. Bedano y Hugo F Schiavo (2007). "Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices". *Cienc. Suelo*. 25 (2): 173-178.

Casanova, P. Vera, W. Leighton, W. Salazar, O. 2004. Edafología guía de clases prácticas. Universidad de Chile. Facultad de ciencias agronómicas departamento de ingeniería y suelos. 74 p.

Cerisola, I. Cecilia, Mirta G. García y Roberto R. Filgueira (2005). "Distribución de la porosidad de un suelo franco arcilloso (alfisol) en condiciones semiáridas después de 15 años bajo siembra directa". *Ciencia del suelo (Argentina)*. 23 (2): 18 – 25.

Cheveli, P. L Font, BJ Calero et al. 2006. Evaluación de algunos indicadores microbiológicos en dos suelos arroceros de la provincia de Camagüey. Cuba. ITEA. Vol 102 (1). 3,12

CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 2007. Fundamentos biofísicos y socioeconómicos para la formulación de propuestas productivas para la Orinoquia alta Colombiana. Convenio MADR – Corpoica. Villavicencio, Meta. Colombia. 205 p.

CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 2007. Fundamentos biofísicos y socioeconómicos para la formulación de propuestas productivas para la Orinoquia alta Colombiana. Convenio MADR – Corpoica. Villavicencio, Meta. Colombia. 205 p.

Denoia, J.; Sosa, O.; Zerpa, G. y Martín, B. 2000. Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. *Pastos XXX* (1): 129-141.

Diaz, G.; Ruiz, M y Cabrera, J. 2009. Modificaciones a las propiedades físicas del suelo por la acción de diferentes prácticas productivas para cultivar arroz (*Oryza sativa* L.). *cultrop*. 30 (3).

Delgadillo, L. F. 2010. Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de física de suelos. Universidad nacional autónoma de México. Instituto de geología. Departamento de edafología. 23 pág.

Espinosa, M., E. Andrade, P. Rivera y A. Romero (2011). “Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México”. *Papeles de Geografía*. 53-54, 77-78.

Ferreras, Laura, Gustavo Magra, Pablo Besson, Esteban Kovalevski y Fernando García (2007). “Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa” *Cienc. Suelo (Argentina)* 25(2): 159-172.

Gallardo A., F. y F. Borie B. 1999. Sensibilidad y tolerancia de especies y cultivares acondicionadas de acidez. Tests rápidos de diagnóstico. *Frontera Agrícola (Chile)* 5(1-2): 3-18.

García, J. 1991. Efectos del laboreo en algunas propiedades físicas de los suelos algodoneros del valle medio del Sinú. *Suelos Ecuatoriales*. 21(1): 51-54.

Guerra, José. 2009. Evaluación de la degradación de los suelos naturales de la isla de Tenerife Secuencias edáficas evolutivas y regresivas. Curso 2009/10 ciencias y tecnologías/1 I.S.B.N.: 978-84-7756-929-9

Henríquez, M. J.; Cabacelta. K. L. 1999. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica. Universidad Nacional del Nordeste. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. 17 pág.

Huber A., C. Oyarzún y A. Ellies (1985). "Balance hídrico en tres plantaciones de Pinus radiata y una pradera". Humedad del suelo y evapotranspiración. Universidad austral de Chile facultad de ciencias forestales. Bosque 6 (2): 74-82.

Huber A., C. Oyarzún y A. Ellies (1985). "Balance hídrico en tres plantaciones de Pinus radiata y una pradera". Humedad del suelo y evapotranspiración. Universidad austral de Chile facultad de ciencias forestales. Bosque 6 (2): 74-82.

Huerta, C. H. 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín. Universidad Autónoma de Querétaro, facultad de ciencias naturales. Licenciatura en biología. 61 p.

Heredia, M. E. 2011. Densidad real, aparente y porosidad del suelo. Peso específico o densidad real del suelo. 34 pág.

Imhoff, Silvia, Horacio Imvinkelried, Cassio Tormena y Alvaro Da Silva (2010). "Calificación visual a campo de la calidad estructural de argiudoles bajo diferentes sistemas de manejo". Cienc. Suelo. 27 (2): 247-253.

Ingaramo, O. E.; Paz G. A.; Dugo, P. M. 2003. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. 17 pág.

Jaramillo, D. F.; L. N. Parra y L. H. González. 1994. El recurso suelo en Colombia: Distribución y evaluación. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 88 p.

Jaramillo, D. F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad nacional de Colombia. Facultad de ciencias. Medellín. 619 p.

Jorajuria Collazo, D. 2004. La resistencia a la penetración como parámetro mecánico del suelo. En: Filgueira, R. y Micucci, F. EDULP (eds.). Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría. 43-53.

Jiménez, A. S. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. Cenicafé 56(4). 17 pág.

Legarda, L (1985). "Propiedades físicas de los suelos. En: Curso de actualización en suelos, con énfasis en las condiciones de Nariño". Pasto, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. pp. 2- 47.

Lopez. R. Y lopez. M. El diagnostico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Ed. Mundi-prensa 4. Ed. Madrid. 1990. 363 p.

López bermúdez, f. 1994. Degradación del suelo ¿fatalidad climática o mala gestión humana? Hacia una gestión sostenible del recurso en el contexto mediterraneo. Papeles de geografía, nº20, págs. 49-64.

Lomelí, D. 2000. El suelo y los componentes. Principales características de los suelos. Universidad de Barragán. 23 pág.

Malagon. D. Propiedades físicas de los suelos. Instituto geografico agustin codazzi (igac). Vol. Xii. N° 7. Bogota, colombia. 1976. 622 p.

Malagón, D. 1986. Levantamientos de suelos en Colombia: Importancia, realizaciones y proyectos. Suelos Ecuatoriales 16(1): 41-51.

Martínez, daniel, ana landini, eduardo soza, olga s. Heredia y claudia sainato (2010). "efecto del pisoteo animal sobre las propiedades de un suelo. Parte i: densidad aparente, humedad, resistencia a la penetración, y modelos asociados". Agrociencia, rev. Chil. Cs. Agropec. 27(1):5-14

Montenegro, H (2003). "Propiedades físicas de los suelos en relación con la fertilidad". Manejo integral de la fertilidad del suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogota. pp 3-28.

Montenegro, H y D. Malagón (1990). "Propiedades físicas de los suelos". Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Bogotá. 813 p. Nariño" Universidad nacional de Colombia sede Palmira Tesis presentada para optar al grado de magíster en ciencias agrarias con énfasis en suelos.

Ordóñez E. 2007 "Efecto del sistema guachado (wachay) y uso del suelo sobre algunas propiedades físicas en la microcuenca del río Bobo, departamento de Nariño" Universidad nacional de Colombia sede Palmira Tesis presentada para optar al grado de magíster en ciencias agrarias con énfasis en suelos.

Ortiz, c., moreno,c d. 1994. Fijación biológica del nitrógeno orgánico y agricultura orgánica versus agricultura convencional. Revista número-38.

Pires da Silva, A.; Inhoff, S. y Corsi, M. 2003. Evaluation of soil compaction in an irrigated short duration grazing system. Soil & Tillage Research 70(1): 83-90.

Plata. E, rodriguez. P y corre. G. Evaluación de recursos naturales renovables. Universidad Santo Tomas. Bogotá. 1989. P. 141-185.

Pomca (Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hídricas). 2009. Corpoamazonia.

Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca alta del rio Putumayo. 2010, Corpoamazonia, WWF y Asociación Ampora, 130 p.

Ramírez., T. (2009). Efectos de los agroquímicos en las propiedades físico-químicas y biológicas en los suelos del Táchira-Venezuela. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 17-18 pp.

Reeves. D. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage. Research.* 1997. 43 ; 131-167.

Rivas, Libardo; Hoyos, Phanor; Amézquita, Edgar y Molina, Diego Luís. (2004). Análisis económico de una estrategia para su conservación y mejoramiento: Construcción de la capa arable. Proyecto de Evaluación de Impacto Proyecto de Suelos. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Convenio MADR – CIAT. Cali, Diciembre. P: 2 -10-13.

Rodríguez, Andrés F., Andrés M. Aristizábal y Jesus H. Camacho (2008). “Variabilidad espacial de los modelos de infiltración de Philip Y Kostiakov en un suelo ândico”. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 28 (1): 64-75.

Rodríguez, I., G. Crespo, S. Lok, V. Torres y S. Fraga (2006). “Indicadores de sostenibilidad en el sistema suelo-planta-animal en Cuba. Nota técnica”. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 40: (2): 239-242.

Rosset, P.M. 1989. Cuba alternative agriculture during crisis. In: Trupp, L.A. (ed.). *New Partnerships for Sustainable Agriculture*, World Resources Institute, Washington DC. P. 19-25.

Rubio, G. A. 2010. La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales. Escuela universitaria de ingeniería técnica agrícola. Universidad de Sevilla. 88 pág.

Rubio, G.; Lavado, R. 2009. Efectos de alternativas de manejo pastoril sobre la densidad aparente. Departamento de suelos. Facultad de agronomía. 5 pág.

Ruiz, H. 1999. Efecto de cuatro sistemas de labranza en el mejoramiento de algunas propiedades físicas en un vertisol cultivado intensivamente en el valle geográfico del Cauca. Trabajo de grado Magíster Scientiae, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrícolas, 229p.

Sánchez, Gabriel, José J. Obrador, David J. Palma y Sergio Salgado (2003). “Densidad aparente en un vertisol con diferentes agrosistemas”. *Itinerancia. Venezuela.* 28 (6): 347-351.

Sanzano, Gerardo A., Roberto D. Corbella; José R. García y Guillermo S. Fadda (2005). “Degradación física y química de un haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo”. *Cienc. Suelo (Argentina)* - 23 (1) 93-100.

Schnitzer, M. 1991. Soil organic matter - the next 75 years. *Soil Sci.* 151:41-58.

Siavosh L.; García, F.; Kaplán, A.; Ponce, J.; Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Facultad de agronomía. Universidad de la República. 68 pág.

Sosa, O.; Martín, B; Zerpa, G. y Lavado, R. 1995. Acción del pisoteo de la hacienda sobre el suelo y la vegetación: Influencia de la altura del tapiz. *Revista Argentina de Producción Animal* 15(1): 252-255.

Sosa, O. 2005. Los estiércoles y su uso como enmiendas orgánicas. Las posibilidades de uso de estiércoles. Catedra de manejo de tierras. Facultad de ciencias agrarias. Universidad nacional del rosario. 34 pág.

Taboada Miguel A. (2007) “Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos de siembra directa” 4° simposio de ganadería en siembra directa” Aapresid, potrero de los funes, San Luis 71-83. Catedra de fertilidad y fertilizantes, Fac de agronomía UBA.

Thompson, L. M. 2002. Los suelos y su fertilidad. Cuarta edición. Editorial Reverté. Barcelona. 77-87.

Unigarro, A y Carreño, M. 2005 Métodos químicos para el análisis de suelos. Pasto, Universidad de Nariño. Pp. 9-32

Valenzuela, I.; Torrente, A. (2013). Física de suelos. Ciencia del suelo, Principios básicos, segunda edición. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, D.C. pp 143 – 207- 153.

Vargas, L. (2012). “Análisis de una cronosecuencia de bosques tropicales del corredor biológico OSA Costa Rica” Tesis para optar por el grado de licenciatura en ingeniería forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de ingeniería forestal.

Vazquez, M.E. 2005. Calcio y Magnesio, acidez y alcalinidad del suelo. En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos (ed HE Echeverría y FO García). Ediciones INTA. Buenos Aires. Argentina. pp. 161-188.

Villalba, R., Gómez, J., y Parra, M. (2006). Manual técnico del cultivo de granadilla. Secretaria técnica cadena productiva de frutas. Neiva. 34pp.

Zagal, E y cordova. C. Indicadores de calidad de la materia organica del suelo en un andisol cultivado. *Agricultura Tecnica*. 2005. 65(2): 186-197.

Zamboni, I. R., Ballesteros, M. I., & Zamudio, A. M. (2006). Caracterización de ácidos húmicos y fúlvicos de un mollisol bajo dos coberturas diferentes characterization of humic and fulvic acids from a mollisol under two different coverlands. *Revista Colombiana de Química*, 35(2).

ANEXOS

Anexo A. Resultados pH, densidad aparente, densidad real, porosidad, humedad gravimétrica, humedad volumétrica en los diferentes tratamientos

1: Profundidad de 0 a 20 cm

Tratamiento 3			pH, Potenciómetro relación Suelo:Agua (1:1).		Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimetrica	Humedad Volumetrica	
SISTEMA DE PASTOREO	1	1	1	5,50	Fuertemente ácido	0,5	1,4	66,20	132,9	64,2
		2	1	5,60	Moderadamente ácido	0,4	1,5	71,27	152,5	67,4
		3	1	5,60	Moderadamente ácido	0,5	1,5	68,62	131,6	63,6
		Promedio		5,57		0,5	1,5	68,70	139,0	65,1
	2	1	1	5,40	Fuertemente ácido	0,3	1,7	82,64	251,4	72,7
		2	1	5,90	Moderadamente ácido	0,4	1,8	77,48	174,1	71,3
		3	1	5,40	Fuertemente ácido	0,3	1,8	84,09	251,4	72,7
		Promedio		5,57		0,3	1,8	81,40	225,6	72,3
	3	1	1	5,07	Fuertemente ácido	0,4	2	81,87	191,6	69,5
		2	1	5,40	Fuertemente ácido	0,4	1,5	72,99	177,0	73,5
		3	1	5,07	Fuertemente ácido	0,4	1,7	78,24	191,6	69,5
		Promedio		5,18		0,4	1,7	77,70	186,7	70,8
	Promedio por Tratamiento			5,44		0,39	1,67	75,93	183,79	69,38

Tratamiento 0 Testigo			pH, Potenciómetro relación Suelo:Agua (1:1).		Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimetrica	Humedad Volumetrica	
BOSQUES	1	1	1	5,60	Moderadamente ácido	0,5	1,7	67,24	109,7	59,9
		2	1	5,80	Moderadamente ácido	0,5	1,7	70,54	117,4	57,7
		3	1	5,80	Moderadamente ácido	0,5	1,7	70,54	117,4	57,7
	Promedio			5,73		0,5	1,7	69,44	114,9	58,4
	2	1	1	5,60	Moderadamente ácido	0,5	2,0	73,72	98,8	51,9
		2	1	6,00	Moderadamente ácido	0,6	2,0	69,34	78,1	47,9
		3	1	5,60	Moderadamente ácido	0,5	2,0	73,72	98,8	51,9
	Promedio			5,73		0,6	2,0	72,26	91,9	50,6
	3	1	1	6,10	Ligeramente ácido	0,5	1,5	66,76	115,5	59,1
		2	1	5,60	Moderadamente ácido	0,6	1,7	66,63	89,7	49,9
		3	1	5,60	Moderadamente ácido	0,6	1,5	63,85	89,7	49,9
	Promedio			5,77		0,5	1,6	65,75	98,3	53,0
	Promedio por Tratamiento			5,74		0,54	1,75	69,15	101,70	53,99

Tratamiento 2			pH, Potenciómetro relación Suelo:Agua (1:1).		Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimetrica	Humedad Volumetrica	
FRIJOL RELEVO MAIZ	1	1	1	5,47	Fuertemente ácido	0,6	1,8	67,96	109,8	64,0
		2	1	5,74	Moderadamente ácido	0,5	2,5	79,30	125,6	65,0
		3	1	5,83	Moderadamente ácido	0,6	2,0	71,48	111,1	63,4
	Promedio			5,68		0,6	2,1	72,91	115,5	64,1
	2	1	1	5,97	Moderadamente ácido	0,5	2,0	76,06	134,0	64,0
		2	1	5,90	Moderadamente ácido	0,5	2,2	77,45	123,6	65,0
		3	1	5,85	Moderadamente ácido	0,6	2,0	72,09	120,1	63,4
	Promedio			5,91		0,5	2,1	75,20	125,9	64,1
	3	1	1	5,63	Moderadamente ácido	0,7	2,2	69,38	92,2	62,7
		2	1	5,47	Fuertemente ácido	0,6	2,5	75,72	104,0	63,2
		3	1	5,70	Moderadamente ácido	0,6	2,9	77,61	95,5	61,1
	Promedio			5,60		0,6	2,5	74,24	97,3	62,3
	Promedio por			5,73		0,57	2,24	74,12	112,88	63,51

Tratamiento			pH, Potenciómetro relación Suelo:Agua (1:1).		Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimetrica	Humedad Volumetrica	
GRANADILLA	1	1	1	6,10	Ligeramente ácido	0,7	1,5	57,10	80,9	53,4
		2	1	6,40	Ligeramente ácido	0,7	1,7	57,10	71,8	51,3
		3	1	6,20	Ligeramente ácido	0,7	1,8	62,58	80,6	54,8
	Promedio			6,23		0,7	1,7	58,92	77,7	53,2
	2	1	1	5,70	Moderadamente ácido	0,5	1,8	70,87	131,2	69,5
		2	1	5,50	Fuertemente ácido	0,6	1,7	64,80	93,4	54,8
		3	1	5,50	Fuertemente ácido	0,6	1,7	64,80	93,4	54,8
	Promedio			5,57		0,6	1,7	66,82	106,0	59,7
	3	1	1	5,20	Fuertemente ácido	0,3	1,7	82,77	263,1	75,6
		2	1	5,60	Moderadamente ácido	0,3	1,4	79,47	275,7	80,9
		3	1	5,20	Fuertemente ácido	0,3	1,7	82,77	263,1	75,6
	Promedio			5,33		0,3	1,6	81,67	267,3	77,3
	Promedio por			5,71		0,51	1,66	69,14	150,35	63,40

2: Profundidad de 20 a 40 cm

Tratamiento 3			pH, Potenciómetro relación Suelo:Agua (1:1).		Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimetrica	Humedad Volumetrica	
SISTEMA DE PASTOREO	1	1	2	5,40	Fuertemente ácido	0,6	2,2	73,96	105,6	61,1
		2	2	5,50	Fuertemente ácido	0,5	1,4	63,07	111,2	58,7
		3	2	5,50	Fuertemente ácido	0,5	1,4	63,07	111,2	58,7
	Promedio			5,45		0,6	1,8	68,52	108,4	59,9
	2	1	2	5,50	Fuertemente ácido	0,6	1,4	56,65	98,0	60,7
		2	2	5,60	Moderadamente ácido	0,6	1,8	69,41	107,7	59,9
		3	2	5,90	Moderadamente ácido	0,4	1,4	71,34	174,1	71,3
	Promedio			5,55		0,6	1,6	63,03	102,9	60,3
	3	1	2	5,03	Fuertemente ácido	0,5	1,7	67,98	117,9	62,9
		2	2	5,50	Fuertemente ácido	0,6	2	71,58	115,1	65,4
		3	2	5,40	Fuertemente ácido	0,4	1,5	72,99	177,0	73,5
	Promedio			5,31		0,5	1,7	70,85	136,7	67,3
	Promedio por Tratamiento			5,44		0,55	1,73	67,46	115,98	62,50
Tratamiento 0 Testigo			pH, Potenciómetro relación Suelo:Agua (1:1).		Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimetrica	Humedad Volumetrica	
BOSQUES	1	1	2	5,70	Moderadamente ácido	0,7	1,8	60,90	81,4	57,9
		2	2	5,60	Moderadamente ácido	0,5	1,3	61,65	115,5	59,1
		3	2	5,80	Moderadamente ácido	0,5	1,8	73,00	129,9	63,8
	Promedio			5,70		0,6	1,7	65,18	108,9	60,2
	2	1	2	6,10	Ligeramente ácido	0,6	1,8	69,41	89,7	49,9
		2	2	6,30	Ligeramente ácido	0,6	2,0	72,09	92,7	51,7
		3	2	6,10	Ligeramente ácido	0,6	2,0	72,19	89,0	49,5
	Promedio			6,17		0,6	1,9	71,23	90,5	50,4
	3	1	2	5,80	Moderadamente ácido	0,5	2,0	73,72	114,0	59,9
		2	2	5,90	Moderadamente ácido	0,6	1,8	69,30	92,7	51,7
		3	2	5,60	Moderadamente ácido	0,6	1,8	69,41	91,6	50,9
	Promedio			5,77		0,5	1,9	70,81	99,4	54,2
	Promedio por Tratamiento			5,88		0,56	1,82	69,07	99,61	54,94

Tratamiento 2			pH, Potenciómetro relación Suelo:Agua (1:1).		Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica	
FRIJOL RELEVO MAIZ	1	1	2	5,80	Moderadamente ácido	0,5	2,2	76,16	120,0	63,6
		2	2	5,62	Moderadamente ácido	0,6	2,2	73,41	114,5	67,6
		3	2	5,73	Moderadamente ácido	0,6	2,5	78,00	125,2	68,9
	Promedio			5,72		0,6	2,3	75,86	119,9	66,7
	2	1	2	6,07	Ligeramente ácido	0,6	2,2	72,59	109,7	63,6
		2	2	5,86	Moderadamente ácido	0,6	2,0	71,99	122,9	67,6
		3	2	6,23	Ligeramente ácido	0,6	2,5	75,47	103,7	68,9
	Promedio			6,05		0,6	2,2	73,35	112,1	66,7
	3	1	2	5,55	Moderadamente ácido	0,7	2,5	71,97	89,5	62,7
		2	2	5,80	Moderadamente ácido	0,7	2,5	72,54	89,6	61,5
		3	2	5,71	Moderadamente ácido	0,5	2,5	71,15	79,9	57,7
	Promedio			5,69		0,6	2,5	71,89	86,4	60,6
	Promedio por			5,82		0,59	2,35	73,70	106,11	64,67

Tratamiento			pH, Potenciómetro relación Suelo:Agua (1:1).		Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica	
GRANADILLA	1	1	2	6,20	Ligeramente ácido	0,7	1,8	62,58	80,6	54,8
		2	2	6,40	Ligeramente ácido	0,7	2,0	64,76	78,9	55,6
		3	2	6,40	Ligeramente ácido	0,7	2,0	64,76	78,9	55,6
	Promedio			6,33		0,7	1,9	64,03	79,5	55,4
	2	1	2	5,70	Moderadamente ácido	0,6	1,5	58,16	95,6	61,5
		2	2	6,00	Moderadamente ácido	0,8	1,8	53,50	56,4	47,7
		3	2	6,00	Moderadamente ácido	0,8	1,8	53,50	56,4	47,7
	Promedio			5,90		0,8	1,7	55,05	69,4	52,3
	3	1	2	5,70	Moderadamente ácido	0,7	1,7	57,59	86,7	61,3
		2	2	6,20	Ligeramente ácido	0,7	1,8	59,10	89,3	66,4
		3	2	6,20	Ligeramente ácido	0,7	1,8	59,10	89,3	66,4
	Promedio			6,03		0,7	1,8	58,60	88,5	64,7
	Promedio por			6,09		0,74	1,81	59,23	79,12	57,45

Anexo B. Estabilidad estructural en los diferentes tratamientos

N° DE TAMIZ		1/4	5	10	18	35	60	Fondo	TOTAL DE MATERIAL	PDP	CLASIFICACIÓN		
ABERTURA DEL TAMIZ (mm)		6,3	4	2	1	0,5	0,25	<0,25					
RANGO DE TAMAÑOS DE AGREGADOS (mm)		10 - 6,3	6,3 - 4,0	4,0 - 2,0	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0					
TAMAÑO PROMEDIO DE AGREGADOS (mm) Xi		8,15	5,15	3	1,5	0,75	0,375	0,125					
TRATAMIENTO	CAJUELa	PROFUNDIDAD	PESO DEL MATERIAL RETENIDO POR CADA TAMIZ										
(TO) BOSQUE	1	1	1	4,6	11,5	3,9	25,2	25,7	18,4	29,9	119,2	1,48	Ligeramente Estable
			2	15,2	17	4,2	20,9	16,8	7,5	7,4	89	3,05	Estable
		2	1	9,1	7,6	2,4	17,9	22,4	20,1	39,9	119,4	1,48	Ligeramente Estable
			2	4,7	7,5	2,4	18,7	27,3	25,2	53,2	139	1,07	Ligeramente Estable
		3	1	27,2	14,7	3,8	17,9	14,5	11,2	20	109,3	3,23	Estable
			2	4	7,6	3,6	24,9	23,4	18,9	27,2	109,6	1,35	Ligeramente Estable
	2	1	1	9,9	14,7	4,7	29,6	27,7	11,5	20,5	118,6	2,05	Moderadamente Estable
			2	3,1	6,2	2,8	29,2	42,9	21,2	44,1	149,5	1,04	Ligeramente Estable
		2	1	60,1	16,9	3,8	16,8	10,2	4,2	7,8	119,8	5,21	Muy Estable
			2	15,1	15,8	13	30,4	13,7	6,9	14,7	109,6	2,77	Moderadamente Estable
		3	1	44,8	11,5	2,6	10,6	5	1,9	3,4	79,8	5,68	Muy Estable
			2	43,8	17,5	3,5	12,2	5,6	2,4	6,1	91,1	5,29	Muy Estable
	3	1	1	13,5	13,8	3,7	19	14,1	7,6	7,8	79,5	2,96	Moderadamente Estable
			2	22	14	3,4	17,6	10	3,9	9,1	80	3,73	Estable
		2	1	50,6	19,5	5,2	23	18,9	13,1	19,7	150	3,90	Estable
			2	0,8	5,8	2,9	16,1	20,9	20,2	22,9	89,6	1,06	Ligeramente Estable
		3	1	10,8	13,9	3,6	17,6	10,8	5,4	7,5	69,6	2,99	Moderadamente Estable
			2	28,3	17,1	15,7	23,5	6,5	7,6	11,3	110	3,73	Estable
	PROMEDIO 0-20 cm						3,217	Estable					
	PROMEDIO 20-40 cm						2,565	Moderadamente Estable					
	PROMEDIO GENERAL						2,891	Moderadamente Estable					

N° DE TAMIZ		1/4	5	10	18	35	60	Fondo	TOTAL DE MATERIAL	PDP	CLASIFICACIÓN			
ABERTURA DEL TAMIZ (mm)		6,3	4	2	1	0,5	0,25	<0,25						
RANGO DE TAMAÑOS DE AGREGADOS (mm)		10 - 6,3	6,3 - 4,0	4,0 - 2,0	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0						
TAMAÑO PROMEDIO DE AGREGADOS (mm) Xi		8,15	5,15	3	1,5	0,75	0,375	0,125						
TRATAMIENTO	CAJUELa	PROFUNDIDAD	PESO DEL MATERIAL RETENIDO POR CADA TAMIZ											
(T1) Granadilla	1	1	1	14,3	4,9	2,3	22,6	31	27	47,79	149,89	1,48	Ligeramente Estable	
			2	0	1,1	0,7	16,4	51,7	39,1	40,4	149,4	0,61	Ligeramente Estable	
		2	1	9,1	10,8	3,8	21	35,6	25	44	149,3	1,44	Ligeramente Estable	
			2	42	25,5	5,9	26	16,2	9,5	24,3	149,4	3,68	Estable	
		3	1	31,4	21,6	6,6	31,6	19	10,4	28,6	149,2	3,06	Estable	
			2	30,8	28,5	8	23,1	13,4	12,5	32,8	149,1	3,19	Estable	
	2	1	1	102,2	17,3	2,6	8,1	4,6	3	11,3	149,1	6,36	Muy Estable	
			2	56,8	24,6	5,6	16,8	8,7	6,9	29,9	149,3	4,32	Estable	
		2	1	86,2	20,7	2,7	7,4	5,7	6,7	10,4	139,8	5,98	Muy Estable	
			2	34,5	9,5	2,9	17,3	16,1	21,7	47,7	149,7	2,61	Moderadamente Estable	
		3	1	29,2	39	23	18,4	13,4	11,9	14,7	149,6	3,69	Estable	
			2	53,8	24,1	5,2	22,4	13,6	8,1	22	149,2	4,21	Estable	
		3	1	1	76,1	17,7	3,9	19,6	12,1	6	13,3	148,7	5,15	Muy Estable
				2	68	24,6	5,2	19,5	9,7	5,4	16,9	149,3	4,94	Estable
	2		1	83,2	17	3,6	16,9	10,4	5,2	12,7	149	5,46	Muy Estable	
			2	31,4	22,6	5	19,6	9,8	4,7	15,8	108,9	3,93	Estable	
	3		1	68,1	17,3	4	17,8	10	5,9	15,9	139	5,00	Estable	
			2	95	15	2,4	7,3	4,3	3,9	21,2	149,1	5,88	Muy Estable	
				PROMEDIO 0-20 cm			4,178		Estable					
				PROMEDIO 20-40 cm			3,706		Estable					
			PROMEDIO GENERAL			3,942		Estable						

N° DE TAMIZ		1/4	5	10	18	35	60	Fondo	TOTAL DE MATERIAL	PDP	CLASIFICACIÓN		
ABERTURA DEL TAMIZ (mm)		6,3	4	2	1	0,5	0,25	<0,25					
RANGO DE TAMAÑOS DE AGREGADOS (mm)		10 - 6,3	6,3 - 4,0	4,0 - 2,0	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0					
TAMAÑO PROMEDIO DE AGREGADOS (mm) Xi		8,15	5,15	3	1,5	0,75	0,375	0,125					
TRATAMIENTO	CAJUELA	PROFUNDIDAD	PESO DEL MATERIAL RETENIDO POR CADA TAMIZ										
(T2) Frijol relevo maíz	1	1	1	21,6	14,5	4,7	20,4	13,9	6	18,3	99,4	3,12	Estable
			2	49,3	15,3	3,5	14,6	6	2,4	8,5	99,6	5,22	Muy Estable
		2	1	34,7	15,4	3,6	15,5	9,1	4,5	16,5	99,3	4,10	Estable
			2	41,6	15,1	3,3	15	9,1	3,6	12,2	99,9	4,59	Estable
		3	1	28,7	18,6	4,7	18,2	9,7	3,6	16,2	99,7	3,83	Estable
			2	35	20,7	5,2	19,5	7,5	2,4	9,3	99,6	4,46	Estable
	2	1	1	43,7	18,6	4	12,2	3,9	1,9	10,3	94,6	5,15	Muy Estable
			2	58	27,1	5,5	19,3	6	2,1	1,5	119,5	5,55	Muy Estable
		2	1	40,5	20,2	4,6	17,9	6,3	2	7,9	99,4	4,84	Estable
			2	42,3	20,8	4,2	17	4,7	2,2	8,6	99,8	4,96	Estable
		3	1	59,7	21,1	4,1	18,3	6,1	3,2	12,1	124,6	5,15	Muy Estable
			2	69	24,6	4,6	16	5,3	2,3	12,6	134,4	5,46	Muy Estable
	3	1	1	40,2	12,9	2,8	12	6,7	4,6	18,7	97,9	4,39	Estable
			2	24,7	22,5	5,4	23,4	9,2	3,8	10,7	99,7	3,79	Estable
		2	1	23,5	15,1	4,7	18,9	14,4	12,5	40,2	129,3	2,57	Moderadamente Estable
			2	20	20,4	6,8	30,3	14,6	7,3	20,1	119,5	2,93	Moderadamente Estable
		3	1	47,7	22,2	5,3	18,9	8	6	21,4	129,5	4,31	Estable
			2	31,6	21	5,5	19,5	12,1	13,5	46,5	149,7	2,88	Moderadamente Estable
PROMEDIO 0-20 cm							4,162					Estable	
PROMEDIO 20-40 cm							4,427					Estable	
PROMEDIO GENERAL							4,295					Estable	

N° DE TAMIZ		1/4	5	10	18	35	60	Fondo	TOTAL DE MATERIAL	PDP	CLASIFICACIÓN		
ABERTURA DEL TAMIZ (mm)		6,3	4	2	1	0,5	0,25	<0,25					
RANGO DE TAMAÑOS DE AGREGADOS (mm)		10 - 6,3	6,3 - 4,0	4,0 - 2,0	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0					
TAMAÑO PROMEDIO DE AGREGADOS (mm) Xi		8,15	5,15	3	1,5	0,75	0,375	0,125					
TRATAMIENTO	CAJUELa	PROFUNDIDAD	PESO DEL MATERIAL RETENIDO POR CADA TAMIZ										
(T3) Sistema de pastoreo	1	1	1	38,7	15	2,8	11,7	5,3	1,9	4,2	79,6	5,32	Muy Estable
			2	35,8	23	5	18,1	6,2	2,4	9,2	99,7	4,60	Estable
		2	1	56,6	16,5	2,9	10	4,6	2,2	6,5	99,3	5,79	Muy Estable
			2	50	15,8	3,9	13	5,5	2,2	9,1	99,5	5,29	Muy Estable
		3	1	71,3	10,7	1,7	5,3	2,8	1,6	6,6	100	6,53	Muy Estable
			2	50,9	17,8	3,5	12,7	5,1	2,1	7,5	99,6	5,44	Muy Estable
	2	1	1	59,7	13,2	2,3	7,3	4,3	2,4	10,3	99,5	5,81	Muy Estable
			2	65,7	7	1,5	5,6	3,5	2,2	13,9	99,4	5,93	Muy Estable
		2	1	56,1	6,9	1,7	5,6	4,9	4,5	19,8	99,5	5,17	Muy Estable
			2	50,7	14,5	2,8	6,8	4,3	3,2	17,1	99,4	5,16	Muy Estable
		3	1	56,1	15,6	2,9	9	4,5	2,7	8,9	99,7	5,67	Muy Estable
			2	41,9	18,8	3,8	10,5	5,1	3,2	16,3	99,6	4,74	Estable
	3	1	1	45,6	18,2	3,7	11,7	5,5	2,7	12	99,4	5,04	Muy Estable
			2	26,2	19,5	5	23,4	3	5,1	8	90,2	4,09	Estable
		2	1	68,3	18,5	4	15,2	7,6	3,4	12,4	129,4	5,37	Muy Estable
			2	26,2	19,5	5	23,4	3	5,1	8	90,2	4,09	Estable
		3	1	51,2	23,1	4,9	17	13,5	9,9	29,6	149,2	3,98	Estable
			2	67,6	20,6	3,9	14,4	10	7,4	25,5	149,4	4,71	Estable
	PROMEDIO 0-20 cm						5,409	Muy Estable					
	PROMEDIO 20-40 cm						4,896	Estable					
PROMEDIO GENERAL						5,152	Muy Estable						

Anexo C. Conductividad hidráulica en los diferentes tratamientos

SITIO DE LA MUESTRA:	Sibundoy Pityo
PROFUNDIDAD	0 a 20 cm 20 a 40 cm

DIAMETRO CILINDRO (D):	4,76 cm
AREA CILINDRO (A):	17,793 cm ²
ALTURA CILINDRO (L):	2,5 cm
CARGA HIDRAULICA (H):	2,5 cm

TRATAMIENTO	CAJUELa	PROFUNDIDAD	No. Cilindro	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	35 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min	130 min	140 min	150 min	K		
T0) BOSQUE	1	1	1	9	11	10	10	10															2,248		
			2	6	6	6																		4,047	
		2	1	3	5	5	5																		3,372
			2	4	8	7	7	6	7	6	7	12	12	12											3,372
		3	1	5																					0,000
			2	6	3	2	2	2																	0,674
	2	1	1	7									0,5	0,5	0,5									0,034	
			2	8					0,5	0,5	0,5													0,067	
		2	1	9									0,5	0,5	0,5									0,034	
			2	10	0,5	0,5	0,5																	0,337	
		3	1	11	0,5	0,5	0,5																	0,337	
			2	12							0,5	0,5	0,5											0,034	
	3	1	1	13	11	12	12	11	11	11														1,855	
			2	14	4	5	4	4	4															0,899	
		2	1	15	17	11	11	11																3,709	
			2	16	3	0,5	3	3	3															0,674	
		3	1	17	34	21	20	12	12	12															2,023
			2	18	4	4	4																		2,698

PROMEDIO 0-20 cm	1,51
PROMEDIO 20-40 cm	1,42
PROMEDIO GENERAL	1,467

TRATAMIENTO	CAJUELa	PROFUNDIDAD	No. Cilindro	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	35 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min	130 min	140 min	150 min	K		
T1) GRANADILLA	1	1	1	5,5	6	6	6																2,023		
			2	21	14	13	11	9	9	8	8	15	14	14	14									0,787	
		2	1	3		1				1	1	1													0,135
			2	4	11	8	8	7	7	7															1,180
		3	1	5	4	4	3	4	4	4															0,674
			2	6	6	4	4	4																	1,349
	2	1	1	7																				0,000	
			2	8																				0,000	
		2	1	9																				0,000	
			2	10																				0,000	
		3	1	11																				0,000	
			2	12	3	3	3																	2,023	
	3	1	1	13																				0,000	
			2	14	7	5	5	5																1,686	
		2	1	15		3	3	3																1,012	
			2	16																				0,000	
		3	1	17						1	1	1												0,135	
			2	18																				0,000	

PROMEDIO 0-20 cm	0,44
PROMEDIO 20-40 cm	0,78
PROMEDIO GENERAL	0,611

TRATAMIENTO	CAJUELa	PROFUNDIDAD	No. Cilindro	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	35 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min	130 min	140 min	150 min	K			
(T2) FRIJOL RELEVO MAIZ	1	1	1	1		0,5	0,5	0,5															0,112			
			2	2	0,5	0,5	0,5																	0,337		
		2	1	3		0,5	0,5	0,5																	0,169	
			2	4	1	1	1																		0,674	
		3	1	5			0,5	0,5	0,5																0,112	
			2	6		0,5	0,5	0,5																	0,169	
	2	1	1	7				1		1	1	1													0,112	
			2	8	58	32	30	27	31	48	43	38	72	67	73	57	77	73	73	69	63	63	63		1,634	
		2	1	9										0,5	0,5	0,5										0,028
			2	10								0,5	0,5	0,5												0,048
		3	1	11								0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5								0,024
			2	12								0,5	0,5	0,5												0,056
	3	1	1	13						0,5	0,5	0,5													0,056	
			2	14						0,5		0,5	0,5	0,5	0,5										0,042	
		2	1	15	3	4	4	4	4																1,349	
			2	16	6	5	4	4	4																0,899	
		3	1	17								0,5	0,5	0,5												0,048
			2	18							0,5	0,5	0,5													0,056

PROMEDIO 0-20 cm	0,22
PROMEDIO 20-40 cm	0,44
PROMEDIO GENERAL	0,329

TRATAMIENTO	CAJUELa	PROFUNDIDAD	No. Cilindro	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	35 min	40 min	50 min	60 min	70 min	80 min	90 min	100 min	110 min	120 min	130 min	140 min	150 min	K			
(T3) SISTEMA DE PASTOREO	1	1	1	2	4	2	2	2																0,450		
			2	4	4	4																			2,698	
		2	1	3	19	15	15	14	20	17	17	17														1,911
			2	4																						0,000
		3	1	5	3	3	3																			2,023
			2	6																						0,000
	2	1	1	7	0,5	0,5	0,5																		0,337	
			2	8																						0,000
		2	1	9																						0,000
			2	10	62	45	50	50	50																	11,240
		3	1	11			0,5	0,5	0,5																	0,112
			2	12			0,5	0,5	0,5																	0,112
	3	1	1	13			1	1	1																0,225	
			2	14	6	7	7	6	6	6															1,012	
		2	1	15																						0,000
			2	16			0,5	0,5	0,5																	0,112
		3	1	17	25	12	15	14	12	12	12															1,619
			2	18	40	34	28	25	25	25																4,215

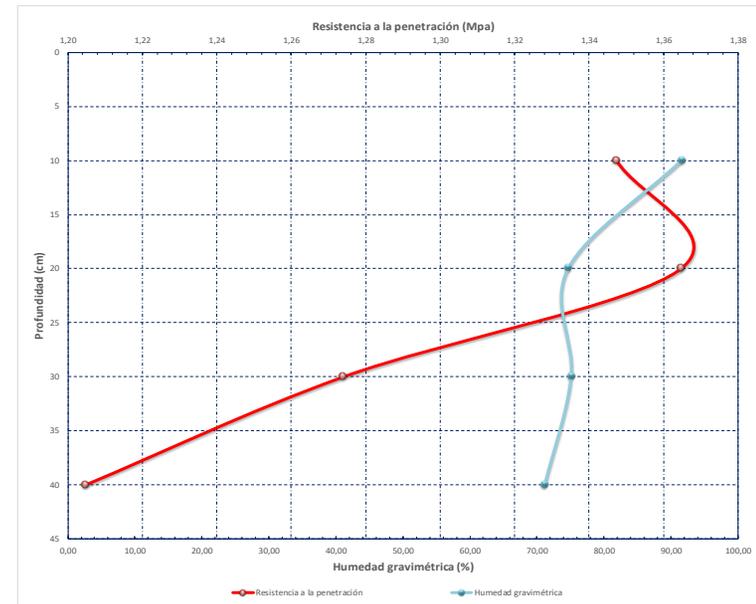
PROMEDIO 0-20 cm	0,74
PROMEDIO 20-40 cm	2,15
PROMEDIO GENERAL	1,448

Anexo D. Resistencia a la penetración de los diferentes tratamientos

Tratamiento	Punto	Profundidad (cm)	PENETRACION		HUMEDAD			
			Resistencia a la penetración (Mpa)	Recipiente Vacío (g)	Recipiente + Suelo humedo (g)	Recipiente + Suelo seco (g)	Humedad gravimétrica (%)	
(T0) BOSQUE	1	1	10	1,35	5,80	45,80	25,90	76,83
			20	1,35	5,90	45,90	25,00	83,60
			30	1,21	5,70	45,70	23,10	97,84
		2	10	0,84	5,80	45,80	21,60	112,04
			20	1,00	5,90	45,90	25,30	81,42
			30	1,00	5,70	45,70	28,20	62,06
		3	10	1,20	5,80	45,80	28,90	58,48
			20	1,20	5,70	45,70	30,70	48,86
			30	1,20	5,80	45,80	21,30	115,02
		4	10	1,33	5,80	45,80	26,30	74,14
			20	1,35	5,80	45,80	27,60	65,94
			30	1,29	5,80	45,80	27,20	68,38
	5	10	1,15	5,80	45,80	24,50	86,94	
		20	1,00	5,80	45,80	28,10	62,99	
		30	1,08	5,80	45,80	27,90	64,16	
	2	1	10	0,90	5,80	45,80	27,70	65,34
			20	1,12	5,80	45,80	27,70	65,34
			30	0,94	5,90	45,90	28,00	63,93
		2	10	0,82	5,80	45,80	27,00	69,63
			20	1,00	5,80	45,80	26,70	71,54
			30	1,51	5,80	45,80	30,00	52,67
		3	10	1,43	5,70	45,70	34,80	31,32
			20	1,50	5,70	45,70	32,30	41,49
			30	1,50	5,70	45,70	37,20	22,85
		4	10	1,41	5,70	45,70	22,10	106,79
			20	1,45	5,70	45,70	22,90	99,56
			30	1,28	5,70	45,70	24,90	83,53
	5	10	1,36	5,70	45,70	24,30	88,07	
		20	1,28	5,70	45,70	17,40	162,64	
		30	1,38	5,80	45,80	23,70	93,25	
	3	1	10	1,38	5,80	45,80	23,80	92,44
			20	1,38	5,70	45,70	24,70	85,02
			30	1,32	5,70	45,70	25,00	82,80
		2	10	1,32	5,80	45,80	28,00	63,57
			20	1,42	5,80	45,80	26,90	70,26
			30	1,60	5,60	45,60	27,10	68,27
		3	10	1,55	5,80	45,80	22,00	108,18
			20	1,59	5,70	45,70	24,00	90,42
			30	1,58	5,90	45,90	26,30	74,52
		4	10	1,58	5,70	45,70	26,30	73,76
			20	1,73	5,80	45,80	22,80	100,88
			30	1,73	5,80	45,80	24,40	87,70
	4	1	10	1,52	5,80	45,80	23,50	94,89
			20	1,52	5,80	45,80	22,50	103,56
			30	0,94	5,70	45,70	22,50	103,11
		2	10	1,35	5,80	45,80	26,50	72,83
			20	1,30	5,80	45,80	27,20	68,38
			30	1,22	5,80	45,80	25,50	79,61
		3	10	1,53	5,70	45,70	25,00	82,80
			20	1,75	5,70	45,70	24,20	88,84
			30	1,32	5,70	45,70	24,20	88,84
		4	10	1,22	5,70	45,70	24,90	83,53
			20	1,37	5,70	45,70	26,30	73,76
			30	1,53	5,70	45,70	26,20	74,43
	5	1	10	0,90	5,80	45,80	24,90	83,94
			20	0,59	5,70	45,70	24,60	85,77
			30	1,15	5,70	45,70	26,10	75,10
		2	10	1,32	5,70	45,70	26,70	71,16
			20	1,25	5,70	45,70	26,50	72,45
			30	0,87	5,70	45,70	26,60	71,80

Tratamiento	Punto	Profundidad (cm)	Resistencia a la penetración (Mpa)	Humedad gravimétrica (%)
(T0) BOSQUE	1	10	1,28	85,11
		20	1,12	69,34
		30	1,13	71,21
	2	10	1,05	61,02
		20	1,41	102,62
		30	1,43	75,62
	3	10	1,43	72,45
		20	1,48	67,59
		30	1,34	87,13
	4	10	1,54	78,99
		20	1,26	81,70
		30	1,08	84,85

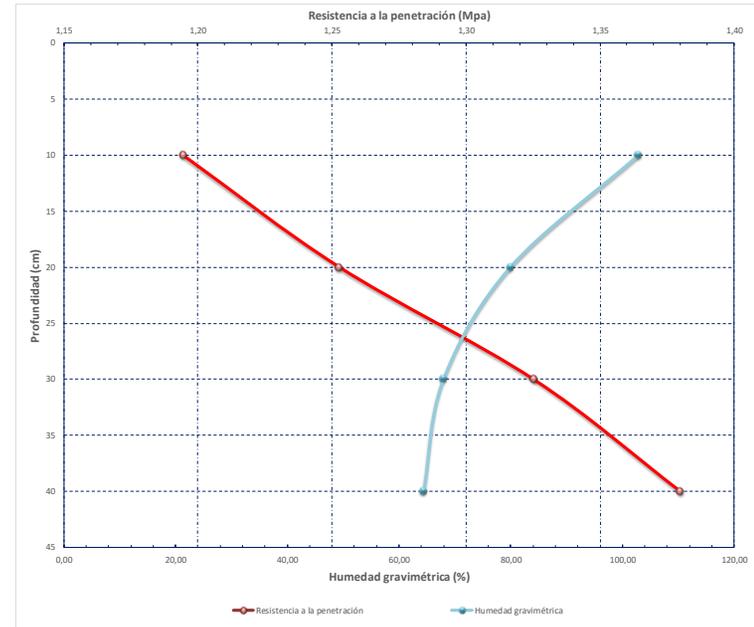
Tratamiento	Profundidad (cm)	Resistencia a la penetración (Mpa)	Humedad gravimétrica (%)
(T0) BOSQUE	10	1,35	91,62
	20	1,36	74,65
	30	1,27	75,12
	40	1,20	71,16



Tratamiento	Punto	Profundidad (cm)	PENETRACION		HUMEDAD				
			Resistencia a la penetración (Mpa)	Recipiente Vacío (g)	Recipiente + Suelo humedo (g)	Recipiente + Suelo seco (g)	Humedad gravimétrica (%)		
(T1) GRANADILLA	1	10	0,99	5,70	45,70	28,50	60,35		
		20	1,00	5,70	45,70	29,20	56,51		
		30	1,00	5,80	45,80	31,10	47,27		
		40	1,10	5,80	45,80	30,40	50,66		
		10	1,06	5,70	45,70	27,60	65,58		
		20	1,10	5,70	45,70	26,90	69,89		
		30	1,10	5,70	45,70	26,80	70,52		
		40	1,40	5,70	45,70	27,40	66,79		
		10	1,90	5,80	45,80	27,60	65,94		
		20	1,00	5,80	45,80	27,70	65,34		
		30	0,90	5,80	45,80	27,00	69,63		
		40	0,62	5,80	45,80	25,40	80,31		
	2	1	10	0,99	5,80	45,80	25,50	79,61	
			20	1,43	5,80	45,80	26,20	74,81	
			30	1,26	5,70	45,70	26,20	74,43	
			40	1,78	5,80	45,80	26,50	72,83	
		2	10	0,85	5,70	45,70	19,70	131,98	
			20	0,85	5,80	45,80	23,70	93,25	
			30	0,91	5,70	45,70	25,50	79,22	
			40	0,97	5,70	45,70	24,70	85,02	
		3	1	10	1,30	5,70	45,70	24,10	89,63
				20	1,45	5,80	45,80	25,10	82,47
				30	1,64	5,90	45,90	27,30	68,13
				40	1,67	5,70	45,70	27,90	63,80
	2		10	1,27	5,80	45,80	24,40	87,70	
			20	1,27	5,90	45,90	24,50	87,35	
			30	1,21	5,80	45,80	26,10	75,48	
			40	1,49	5,90	45,90	28,10	63,35	
	3		10	1,40	5,90	45,90	25,60	79,30	
			20	1,40	5,80	45,80	25,60	78,91	
			30	1,10	5,80	45,80	26,00	76,15	
			40	1,10	5,80	45,80	27,00	69,63	
	4	1	10	1,15	5,70	45,70	24,70	85,02	
			20	1,18	5,70	45,70	24,60	85,77	
			30	1,60	5,80	45,80	28,00	63,57	
			40	1,49	5,90	45,90	26,50	73,21	
		2	10	0,99	5,70	45,70	25,90	76,45	
			20	1,20	5,90	45,90	28,40	61,62	
			30	1,20	5,70	45,70	29,20	56,51	
			40	1,28	5,80	45,80	30,00	52,67	
		5	1	10	0,97	5,80	45,80	18,50	147,57
				20	1,30	5,90	45,90	24,10	90,46
				30	1,60	5,90	45,90	25,40	80,71
				40	1,71	5,80	45,80	25,40	80,31
	2		10	1,15	5,80	45,80	20,40	124,51	
			20	1,46	5,80	45,80	24,60	86,18	
			30	1,31	5,90	45,90	26,90	70,63	
			40	1,40	5,70	45,70	25,90	76,45	
	3		10	1,10	5,80	45,80	16,20	182,72	
			20	1,46	5,80	45,80	25,70	78,21	
			30	2,17	5,80	45,80	29,40	55,78	
			40	1,29	5,80	45,80	29,40	55,78	
	4	10	1,21	5,80	45,80	19,70	132,49		
		20	1,49	5,80	45,80	23,30	96,57		
		30	1,54	5,70	45,70	29,30	55,97		
		40	1,55	5,80	45,80	27,60	65,94		
	5	10	1,59	5,90	45,90	19,70	132,99		
		20	1,20	5,80	45,80	24,00	90,83		
		30	1,34	5,80	45,80	26,10	75,48		
		40	1,85	5,80	45,80	27,10	69,00		

Tratamiento	Punto	Profundidad (cm)	Resistencia a la penetración (Mpa)	Humedad gravimétrica (%)
(T1) GRANADILLA	1	10	1,16	80,69
		20	1,08	71,96
		30	1,03	68,21
		40	1,17	59,27
	2	10	1,22	83,62
		20	1,30	79,22
		30	1,35	67,97
		40	1,41	64,53
	3	10	1,20	144,06
		20	1,38	88,45
		30	1,59	67,71
		40	1,56	69,50

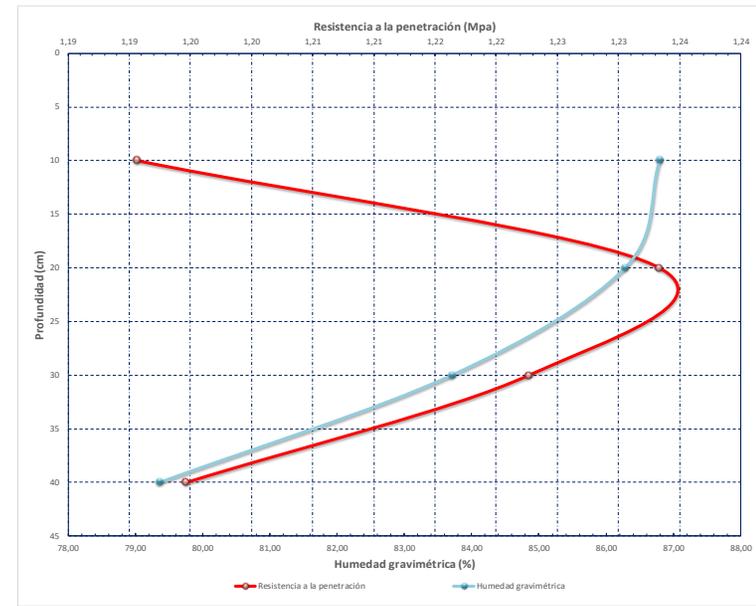
Tratamiento	Profundidad (cm)	Resistencia a la penetración (Mpa)	Humedad gravimétrica (%)
(T1) GRANADILLA	10	1,19	102,79
	20	1,25	79,88
	30	1,33	67,97
	40	1,38	64,43



Tratamiento	Punto	Profundidad (cm)	PENETRACION		HUMEDAD		
			Resistencia a la penetración (Mpa)	Recipiente Vacío (g)	Recipiente + Suelo humedo (g)	Recipiente + Suelo seco (g)	Humedad gravimétrica (%)
(T2) FRUJOL RELEVO MAIZ	1	10	1,32	5,80	45,80	25,10	82,47
		20	1,35	5,70	45,70	23,10	97,84
		30	1,34	5,70	45,70	23,30	96,14
		40	1,33	5,70	45,70	23,40	95,30
		10	1,21	5,70	45,70	23,80	92,02
		20	1,21	5,70	45,70	23,60	93,64
		30	1,21	5,70	45,70	24,70	85,02
		40	0,99	5,70	45,70	24,30	88,07
		10	0,99	5,70	45,70	24,40	87,30
		20	1,29	5,80	45,80	22,90	100,00
		30	1,29	5,80	45,80	23,60	94,07
		40	1,29	5,70	45,70	23,30	96,14
	10	0,96	5,70	45,70	24,00	90,42	
	20	1,10	5,80	45,80	23,80	92,44	
	30	1,25	5,80	45,80	24,10	90,04	
	40	1,27	5,60	45,60	23,30	95,71	
	10	1,11	5,80	45,80	23,20	97,41	
	20	1,15	5,70	45,70	21,40	113,55	
	30	1,16	5,90	45,90	23,00	99,57	
	40	1,16	5,70	45,70	22,20	105,86	
	10	1,17	5,80	45,80	24,60	86,18	
	20	1,12	5,60	45,60	25,00	82,40	
	30	1,11	5,70	45,70	23,80	92,02	
	40	1,22	5,70	45,70	24,40	87,30	
	10	0,99	5,70	45,70	24,90	83,53	
	20	1,01	5,70	45,70	24,70	85,02	
	30	1,18	5,60	45,60	24,10	89,21	
	40	1,18	5,60	45,60	23,10	97,40	
	10	1,16	5,60	45,60	25,10	81,67	
	20	1,32	5,60	45,60	25,90	76,06	
	30	1,36	5,60	45,60	25,70	77,43	
	40	1,43	5,60	45,60	25,50	78,82	
	10	1,30	5,60	45,60	25,00	82,40	
	20	1,30	5,60	45,60	26,60	71,43	
	30	1,30	5,60	45,60	25,90	76,06	
	40	1,30	5,60	45,60	26,20	74,05	
	10	1,55	5,60	45,60	25,00	82,40	
	20	1,50	5,60	45,60	24,90	83,13	
	30	1,40	5,60	45,60	24,70	84,62	
	40	1,34	5,70	45,70	24,30	88,07	
	10	1,29	5,70	45,70	24,40	87,30	
	20	1,58	5,60	45,60	25,20	80,95	
	30	1,60	5,60	45,60	26,70	70,79	
	40	1,60	5,60	45,60	25,00	82,40	
	10	1,00	5,60	45,60	27,20	67,65	
	20	1,00	3,00	43,00	24,70	74,09	
	30	0,99	3,00	43,00	23,80	80,67	
	40	0,91	2,90	42,90	24,20	77,27	
	10	1,20	3,00	43,00	22,00	95,45	
	20	1,22	3,00	43,00	22,30	92,83	
	30	1,19	3,00	43,00	23,40	83,76	
	40	1,10	3,00	43,00	24,50	75,51	
	10	1,10	3,00	43,00	21,90	96,35	
	20	1,10	3,10	43,10	23,40	84,19	
	30	1,01	3,10	43,10	24,60	75,20	
	40	1,00	3,00	43,00	24,70	74,09	
	10	1,51	3,00	43,00	22,70	89,43	
	20	1,25	3,00	43,00	25,80	66,67	
	30	0,95	3,00	43,00	26,70	61,05	
	40	0,80	3,00	43,00	27,80	54,68	

Tratamiento	Punto	Profundidad (cm)	Resistencia a la penetración (Mpa)	Humedad gravimétrica (%)
(T2) FRUJOL RELEVO MAIZ	1	10	1,12	89,92
		20	1,22	99,49
		30	1,25	92,97
		40	1,21	80,18
	2	10	1,23	83,24
		20	1,25	79,61
		30	1,27	83,87
		40	1,29	85,13
	3	10	1,22	87,23
		20	1,23	79,74
		30	1,15	74,29
		40	1,08	72,79

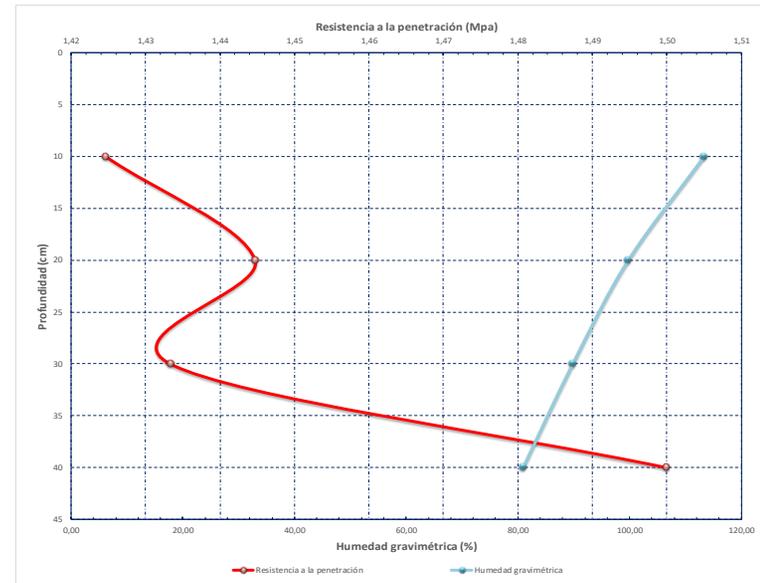
Tratamiento	Profundidad (cm)	Resistencia a la penetración (Mpa)	Humedad gravimétrica (%)
(T2) FRUJOL RELEVO MAIZ	10	1,19	86,80
	20	1,23	86,28
	30	1,22	83,71
	40	1,19	79,36



Tratamiento	Punto	Profundidad (cm)	PENETRACION		HUMEDAD			
			Resistencia a la penetración (Mpa)	Recipiente Vacío (g)	Recipiente + Suelo humedo (g)	Recipiente + Suelo seco (g)	Humedad gravimétrica (%)	
(T3) SISTEMA DE PASTOREO	1	1	10	1,72	5,80	45,80	19,90	130,15
			20	1,72	5,80	45,80	22,30	105,38
			30	1,72	5,80	45,80	24,00	90,83
		2	10	1,62	5,80	45,80	24,70	85,43
			20	1,51	5,70	45,70	20,80	119,71
			30	1,51	5,80	45,80	22,20	106,31
		4	10	1,52	5,80	45,80	23,70	93,25
			20	1,52	5,80	45,80	25,50	79,61
			30	1,44	5,70	45,70	22,10	106,79
		3	10	1,44	5,70	45,70	22,10	106,79
			20	1,40	5,70	45,70	22,20	105,86
			30	1,41	5,70	45,70	23,20	96,98
	4	10	1,26	5,70	45,70	19,30	136,79	
		20	1,29	5,70	45,70	23,70	92,83	
		30	1,29	5,80	45,80	24,80	84,68	
	5	10	1,33	5,70	45,70	26,10	75,10	
		20	1,68	5,70	45,70	21,80	109,63	
		30	1,80	5,70	45,70	22,50	103,11	
	2	1	10	1,68	5,70	45,70	24,60	85,77
			20	1,68	5,70	45,70	23,80	92,02
			30	1,39	5,80	45,80	22,30	105,38
		2	10	1,39	5,60	45,60	24,30	87,65
			20	1,31	5,70	45,70	25,20	81,35
			30	1,68	5,70	45,70	25,90	76,45
		3	10	1,32	5,70	45,70	22,10	106,79
			20	1,26	5,70	45,70	22,60	102,21
			30	1,22	5,60	45,60	23,30	95,71
		4	10	1,25	5,60	45,60	23,50	94,04
			20	1,29	5,60	45,60	21,20	115,09
			30	1,40	5,60	45,60	19,10	138,74
	5	10	1,29	5,60	45,60	25,20	80,95	
		20	1,10	5,60	45,60	24,50	86,12	
		30	1,32	5,60	45,60	17,10	166,67	
	3	1	10	1,32	5,60	45,60	24,50	86,12
			20	1,32	5,60	45,60	24,50	86,12
			30	1,25	5,60	45,60	25,60	78,13
		2	10	1,25	5,60	45,60	28,20	61,70
			20	1,37	5,60	45,60	23,10	97,40
			30	1,30	5,60	45,60	25,00	82,40
		3	10	1,58	5,60	45,60	24,50	86,12
			20	2,20	5,70	45,70	24,40	87,30
			30	1,45	5,70	45,70	24,50	86,53
		4	10	1,45	5,60	45,60	22,00	107,27
			20	1,45	5,60	45,60	23,40	94,87
			30	1,40	5,60	45,60	26,40	72,73
	5	10	1,46	5,60	45,60	25,00	82,40	
		20	1,27	3,00	43,00	22,60	90,27	
		30	1,49	3,00	43,00	21,60	99,07	
	4	1	10	1,30	2,90	42,90	20,90	105,26
			20	1,60	3,00	43,00	24,70	74,09
			30	1,65	3,00	43,00	24,20	77,69
		2	10	1,50	3,00	43,00	24,20	77,69
			20	1,87	3,00	43,00	24,20	77,69
			30	1,21	3,00	43,00	18,60	131,18
		3	10	1,52	3,10	43,10	21,70	98,62
			20	1,29	3,10	43,10	22,80	89,04
			30	1,29	3,00	43,00	22,30	92,83
		4	10	1,35	3,00	43,00	18,60	131,18
			20	1,35	3,00	43,00	20,40	110,78
			30	1,51	3,00	43,00	21,10	103,79
	5	10	1,60	3,00	43,00	21,30	101,88	

Tratamiento	Punto	Profundidad (cm)	Resistencia a la penetración (Mpa)	Humedad gravimétrica (%)
(T3) SISTEMA DE PASTOREO	1	10	1,52	120,61
		20	1,55	102,88
		30	1,52	92,08
		40	1,51	71,52
		10	1,34	118,27
		20	1,33	99,43
	2	30	1,33	84,45
		40	1,50	81,12
		10	1,41	101,08
	3	20	1,45	96,93
		30	1,45	92,89
		40	1,49	90,08

Tratamiento	Profundidad (cm)	Resistencia a la penetración (Mpa)	Humedad gravimétrica (%)
(T3) SISTEMA DE PASTOREO	10	1,42	113,32
	20	1,44	99,74
	30	1,43	89,81
	40	1,50	80,91



Anexo E. Materia orgánica en los diferentes tratamientos

Tratamiento 0 Testigo	Cajuela	Muestra	Materia organica	
BOSQUES	1	1	Ligera	
			Ligera	
		2	1	Ligera
			2	ligera
		3	1	fuerte
			2	Fuerte
	2	1	1	Ligera
			2	Ligera
		2	1	Ligera
			2	ligera
		3	1	ligera
			2	Ligera
3	1	1	Ligera	
		2	Ligera	
	2	1	Ligera	
		2	ligera	
	3	1	ligera	
		2	Ligera	

Tratamiento 1	Cajuela	Muestra	Materia organica	
GRANADILLA A	1	1	Fuerte	
			Ligera	
		2	1	Ligera
			2	Fuerte
		3	1	Ligera
			2	Ligera
	2	1	1	Fuerte
			2	Ligera
		2	1	fuerte
			2	Fuerte
		3	1	Ligera
			2	Ligera
	3	1	1	Violenta
			2	Fuerte
		2	1	Fuerte
			2	Fuerte
		3	1	Fuerte
			2	Fuerte

Tratamiento 2	Cajuela	Muestra	Materia organica	
FRIJOL RELEVO MAIZ	1	1	Ligera	
			Ligera	
		2	1	Ligera
			2	ligera
		3	1	fuerte
			2	Fuerte
	2	1	1	Ligera
			2	Ligera
		2	1	Ligera
			2	ligera
		3	1	ligera
			2	Ligera
3	1	1	Ligera	
		2	Ligera	
	2	1	Ligera	
		2	ligera	
	3	1	ligera	
		2	Ligera	

Tratamiento 3	Cajuela	Muestra	Materia organica	
SISTEMA DE PASTOREO	1	1	Fuerte	
			Ligera	
		2	1	Fuerte
			2	Ligera
		3	1	Fuerte
			2	Ligera
	2	1	1	Fuerte
			2	Ligera
		2	1	Fuerte
			2	Ligera
		3	1	Fuerte
			2	Ligera
	3	1	1	Fuerte
			2	Ligera
		2	1	Fuerte
			2	Ligera
		3	1	Fuerte
			2	Ligera

Anexo F. Salidas estadísticas a las diferentes profundidades entre los diferentes tratamientos

1: Profundidad de 0 a 20 cm

Análisis de la varianza

pH.

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
pH.	12	0,54	0,15	4,32	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,42	5	0,08	1,40	0,3432
Bloque	0,23	2	0,12	1,93	0,2256
Tratamiento	0,19	3	0,06	1,05	0,4367
Error	0,36	6	0,06		
Total	0,78	11			

Densidad Aparente

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Densidad Aparente	12	0,48	0,04	23,87	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,08	5	0,02	1,10	0,4479
Bloque	0,03	2	0,02	1,08	0,3989
Tratamiento	0,05	3	0,02	1,11	0,4147
Error	0,09	6	0,01		
Total	0,17	11			

Densidad Real

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad Real	12	0,78	0,60	9,96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,71	5	0,14	4,24	0,0538
Bloque	0,05	2	0,02	0,70	0,5330
Tratamiento	0,66	3	0,22	6,60	0,0250
Error	0,20	6	0,03		
Total	0,91	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,51604

Error: 0,0333 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2,00	2,23	3	0,11 A
0,00	1,77	3	0,11 A B
1,00	1,67	3	0,11 B
3,00	1,67	3	0,11 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Porosidad

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Porosidad	12	0,49	0,06	8,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	236,17	5	47,23	1,14	0,4310
Bloque	127,73	2	63,87	1,54	0,2880
Tratamiento	108,44	3	36,15	0,87	0,5054
Error	248,42	6	41,40		
Total	484,59	11			

Humedad Gravimetrica

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad Gravimetrica	12	0,47	0,02	42,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	17700,99	5	3540,20	1,05	0,4684
Bloque	5125,97	2	2562,98	0,76	0,5083
Tratamiento	12575,03	3	4191,68	1,24	0,3745
Error	20259,93	6	3376,65		
Total	37960,92	11			

Humedad Volumetrica

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad Volumetrica	12	0,59	0,24	11,40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	433,65	5	86,73	1,71	0,2665
Bloque	68,71	2	34,35	0,68	0,5438
Tratamiento	364,94	3	121,65	2,39	0,1673
Error	305,18	6	50,86		
Total	738,82	11			

2: Profundidad de 20 a 40 cm

Análisis de la varianza

pH.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH.	12	0,76	0,56	3,44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,76	5	0,15	3,79	0,0679
Bloque	0,09	2	0,05	1,19	0,3682
Tratamiento	0,66	3	0,22	5,52	0,0368
Error	0,24	6	0,04		
Total	1,00	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,56520

Error: 0,0400 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
1,00	6,09	3	0,12 A
0,00	5,88	3	0,12 A B
2,00	5,82	3	0,12 A B
3,00	5,44	3	0,12 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad Aparente

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad Aparente	12	0,89	0,80	6,04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,07	5	0,01	9,84	0,0074
Bloque	0,01	2	0,01	4,20	0,0723
Tratamiento	0,06	3	0,02	13,60	0,0044
Error	0,01	6	1,4E-03		
Total	0,08	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10534

Error: 0,0014 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
1,00	0,73	3	0,02 A
2,00	0,60	3	0,02 B
0,00	0,57	3	0,02 B
3,00	0,57	3	0,02 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad Real

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Densidad Real	12	0,90	0,82	6,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,76	5	0,15	11,09	0,0054
Bloque	0,03	2	0,02	1,16	0,3742
Tratamiento	0,72	3	0,24	17,71	0,0022
Error	0,08	6	0,01		
Total	0,84	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,32976

Error: 0,0136 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2,00	2,33	3	0,07 A
0,00	1,83	3	0,07 B
1,00	1,80	3	0,07 B
3,00	1,70	3	0,07 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Porosidad

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Porosidad	12	0,80	0,63	5,63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	345,51	5	69,10	4,80	0,0412
Bloque	17,63	2	8,82	0,61	0,5728
Tratamiento	327,88	3	109,29	7,59	0,0182
Error	86,41	6	14,40		
Total	431,92	11			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=10,72609

Error: 14,4010 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2,00	73,70	3	2,19 A
0,00	69,07	3	2,19 A B
3,00	67,47	3	2,19 A B
1,00	59,23	3	2,19 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Humedad Gravimetrica

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad Gravimetrica	12	0,64	0,34	15,06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2443,94	5	488,79	2,14	0,1900
Bloque	256,91	2	128,46	0,56	0,5966
Tratamiento	2187,02	3	729,01	3,20	0,1049
Error	1367,42	6	227,90		
Total	3811,36	11			

Humedad Volumetrica

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Humedad Volumetrica	12	0,59	0,25	8,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	219,36	5	43,87	1,73	0,2618
Bloque	39,15	2	19,58	0,77	0,5036
Tratamiento	180,21	3	60,07	2,36	0,1701
Error	152,41	6	25,40		
Total	371,77	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=14,24538

Error: 25,4014 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2,00	64,67	3	2,91 A
3,00	62,50	3	2,91 A
1,00	57,47	3	2,91 A
0,00	54,93	3	2,91 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)