

**EVALUACIÓN DE LA SUCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL
SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays*) UTILIZANDO PARCELAS
DE ESCORRENTIA EN EL MUNICIPIO DE SIBUNDOY PUTUMAYO**

**ANGIE TATIANA BETANCOUR TRIANA
NIDIAN LICETTE BURGOS CRIOLLO
LEIDY ARACELY SOLARTE VELASQUEZ**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL PUTUMAYO
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AMBIENTAL
SIBUNDOY PUTUMAYO
2016**

EVALUACIÓN DE LA SUCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays*) UTILIZANDO PARCELAS DE ESCORRENTIA EN EL MUNICIPIO DE SIBUNDOY PUTUMAYO

**ANGIE TATIANA BETANCOUR TRIANA
NIDIAN LICETTE BURGOS CRIOLLO
LEIDY ARACELY SOLARTE VELASQUEZ**

Trabajo de grado, modalidad Semillero de Investigación presentado para optar el Título de Ingeniero Ambiental

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

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL PUTUMAYO
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERÍA 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

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

Sibundoy, Putumayo agosto de 2016

DEDICATORIA

*A Dios,
Por haberme permitido llegar hasta este punto
y darme salud para lograr mis objetivos.*

*A mi madre,
Porque es el pilar fundamental en todo lo que hoy soy,
sin ella y todo su apoyo no hubiera sido esto posible
Por sus consejos, sus valores,
por ser siempre incondicional, y creer en mí,
por la motivación constante cuando
parecía que ya no podía y quería desfallecer
pero sobre todo por su AMOR. ¡Todo esto... Gracias a ti!*

*A mis familiares
A mi hija y mis hermanos
porque son ellos quienes me dan la fuerza
para salir adelante y ser cada día mejor.*

*A mi esposo por apoyarme
en cada una de las decisiones que tomo
y siempre estar para mí.*

*A mis amigos, compañeros
Que de una u otra manera nos colaboramos mutuamente
para poder lograr el objetivo tan esperado.*

*Nadie triunfa sin esfuerzo. Aquellos que triunfan deben su éxito a la
perseverancia. Ramana Maharshi*

Angie Betancour

DEDICATORIA

Mis primeros agradecimientos están dirigidos a Dios, quien siempre ha caminado a mi lado y ha hecho que siga adelante aun cuando el escenario se haga adverso.

A mis padres, Nelson Burgos e Isabel Criollo quienes con su esfuerzo, sacrificio y amor son la principal fuente de motivación para alcanzar esta meta, Infinitas Gracias por su apoyo, sabios consejos, comprensión y entrega incondicional en cada instante de mi vida.

A mis hermanos Kelly y Hernan Burgos por su compañía, consejos y los miles de momentos compartidos.

*Una mención especial a la persona que ha sabido entregarme todo su apoyo, cariño, amor incondicional y que siempre me animo, acompaño y asesoro para llevar a feliz término este proyecto, muchas gracias
Fredy Oviedo*

Finalmente, no puedo dejar de mencionar a quienes han colaborado directamente en el desarrollo de este trabajo: a la magister Adriana Guerra Acosta y compañeras de trabajo Se agradece su compromiso, cooperación y excelente disposición.

Licet Burgos

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a Dios por regalarme la vida, fortaleza,
Dedicación y perseverancia para alcanzar
cada uno de mis propósitos.*

*A mis padres Nemesiano Solarte y Doris Velásquez por su apoyo y sacrificio,
quienes me enseñaron a luchar por mis sueños
con empeño y responsabilidad, por estar a mi lado
en los momentos difíciles dándome consejos y fuerza
para salir adelante.*

*A mi hijo Sebastián, por ser el motor de mi vida
Que me impulsa cada día a ser una mejor
Madre y persona por quien espero seguir cosechando
Nuevos triunfos.*

*A mis compañeras, por ser unas excelentes personas,
responsables y comprometidas con el desarrollo
de esta investigación.*

*A la magister Adriana Guerra Acosta, quien, con su dedicación, paciencia, y
profesionalismo nos orientó y compartió sus conocimientos
Contribuyendo a mi formación como profesional.*

Leidy solarte

AGRADECIMIENTOS

Las autoras 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 señor Edgar Oviedo propietario de la finca “El Eucalipto” 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 del proceso.

Al ingeniero Fredy Oviedo por su colaboración y acompañamiento en la ejecución de este proyecto.

A los docentes del Instituto Tecnológico del Putumayo de las sedes Sibundoy y Mocoa, por su compromiso con la formación integral que nos han brindado durante los estudios profesionales.

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

RESUMEN

En el municipio de Sibundoy departamento del Putumayo, la implementación de modelo de producción maíz relevo frijol se ha consolidado como una de las actividades agrícolas de mayor relevancia para la población local y regional, realizándose inclusive en zonas de ladera, lo que sumado a las condiciones climáticas del área ha dado como resultado un incremento en la susceptibilidad de los suelos a sufrir procesos de erosión.

En los suelos manejados bajo el sistema de producción maíz (*Zea mays*), en pendientes que oscilan entre el 15 a 20% e incorporando residuos de cosecha, se evaluó la incidencia de la erosión hídrica mediante la implementación de parcelas de escorrentía en tres tratamientos que incluyeron suelo desnudo como testigo (T0), suelo sin incorporación de residuos de cosecha (T1) y suelo con incorporación de residuos de cosecha (T2), determinando la cantidad de suelo perdido después de cada evento de lluvia, de igual manera se determinarían algunas propiedades físicas y químicas del suelo y el efecto de la incorporación y no incorporación de residuos vegetales como la caña que sirvió de tutor al frijol y los residuos de cosecha en el sistema de producción.

Se realizó un análisis estadístico Anova y una prueba de significancia de Tukey, contrastando primero la cantidad de suelo erodado en cada uno de los tratamientos, así como también dicha cantidad con la altura de precipitación, además también se compararon las propiedades físicas evaluadas en cada uno de a profundidades de 0-15 cm y de 15-30 cm.

Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) para erosión en los tres tratamientos siendo el valor más bajo para el tratamiento donde se incorporó residuos de caña (T2) con 1,21 kg/ha, seguido por el tratamiento testigo (T0)=7,54 kg/ha y por último se encontró el valor más alto de pérdida de suelo en el tratamiento donde no se incorporó residuos de cosecha con 12,43 kg/ha, para lo cual se establece que la incorporación de dichos residuos favorece la disminución de la erosión en cultivos manejados en zonas de ladera, así como también aporta una gran cantidad de nutrientes para la planta.

Además también se determinó que a una altura de precipitación que oscila en rangos 0,1–5 mm el suelo erodado en los tratamientos fue para T2=0,05 kg/ha; T1=0,08 kg/ha y T0 = 0,14 kg/ha y al incrementar la altura de precipitación se estableció que el suelo erodado era mayor al compararlo con alturas de precipitación entre 20,1-34 mm, teniendo como pérdida de suelo para T2=0,69 kg/ha, T0=2,81 kg/ha y T1=11,64 kg/ha, con lo cual se concluyó que a mayor altura de precipitación mayor suelo erodado, así como también que al agregar residuos de cosecha el pérdida del suelo es menor como ocurre con el tratamiento T2.

De acuerdo a lo resultados estadísticos encontrados en la física evaluada a los tres tratamientos se encontró diferencias altamente significativas ($P < 0,05$) para porosidad en la profundidad de 15 -30 cm, encontrando unos valores para T1 con 60,1 % seguido por T0 de 62,9 %, y T2 con 68,4 %, así como también para humedad gravimétrica a una profundidad de 0-15 cm con valores de T0=103,4 %, T2=114,6 % y T1=163,7 % y humedad volumétrica para profundidades de 0-15 cm con valores de T0=54,9 %, T2=64,1 % y T1=68,2 %.

En cuanto a la química evaluada se encontró un pH fuertemente ácido, deficiencias de calcio (Ca) y magnesio (Mg) y presencia de aluminio (Al), para lo cual se recomienda que se lleve a cabo un encalamiento especialmente con cal dolomita para aumentar el pH neutralizar el Al y nutrirlo con Ca y Mg.

Palabras claves. Suelo erodado, altura de precipitación, densidad aparente densidad real, porosidad, química de suelos.

ABSTRACT

In the municipality of Sibundoy department of Putumayo, the implementation model of production maize over bean has been consolidated as one of the agricultural activities of greater relevance to the local population and regional, continue even in areas of hillside, which joined to the climatic conditions of the area has resulted in an increase in the susceptibility of soils to suffer erosion processes.

In the managed soils under the production system Maize (*Zea mays*), on slopes ranging between 15 to 20% and incorporating crop residue and assessed the incidence of water erosion through the implementation of plots of runoff in three treatments that included bare soil as a witness (T0), soil without incorporation of crop residues (T1) and ground with incorporation of crop residues (T2), determining the amount of soil lost after each event of rain, similarly identify some physical and chemical properties of the soil and the effect of the incorporation and non-incorporation of vegetable waste as the cane that served as a guardian to beans and crop residue on the Production system.

Anova statistical analysis is performed and a test of significance of Tukey, contrasting first the amount of soil changes in each of the treatments, as well as also the quantity with the height of precipitation, in addition also compared physical properties evaluated in each of a 0-15 cm and 15-30 cm depths.

The statistical analysis showed significant differences ($P < 0.05$) for erosion in the three treatments being the lowest value for treatment where joined cane residues (T2) with 1.21 kg/ha, followed by the control treatment (T0)=7.54 kg/ha and finally found the highest value of loss of ground in the treatment where was not incorporated crop residues with 12.43 kg/ha, for which it is established that the incorporation of such waste favors the decline of the erosion in crops managed in areas of hillside, as well as provides a large amount of nutrients for the plant.

In addition it was also determined that at a height of precipitation that ranges in ranges 0.1-5 mm soil erodado in treatments was for T2=0,05 kg/ha; T1=0.08 kg/ha and t0 = 0.14 kg/ha and by increasing the height of precipitation was established that the ground erodado was higher when compared with heights of precipitation between 20,1-34 mm, taking as loss of soil for T2=0.69 kg/ha, T0=2.81 kg/ha and t1=11.64 kg/ha, with which it was concluded that a greater height of precipitation largest floor erodado, as well as to add crop residue in the loss of the soil is less as occurs with the treatment T2.

According to the statistical results found in the physics evaluated in the three treatments was found highly significant differences ($P < 0.05$) for porosity in the depth of 15 -30 cm, finding values for T1 with 60.1% followed by T0 of 62.9 %, and T2 with 68.4 %, as well as for humidity gravimetrically at a depth of 0-15 cm with

values of $T_0=103.4\%$, $T_2=114.6\%$ and $T_1=163.7\%$ and humidity volumetric to depths of 0-15 cm with values of $T_0=54.9\%$, $T_2=64.1\%$ and $T_1=68.2\%$.

With regard to the chemical evaluated is found a pH strongly acid deficiencies of calcium (Ca) and magnesium (Mg) and presence of aluminum (Al), for which it is recommended that you perform a lime especially with lime dolomite to raise the pH Neutralizing the Al and nurturing it with Ca and Mg.

Key words. Ground erodado, height of precipitation, apparent density real density, porosity, soil chemistry.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. PROBLEMA	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3. JUSTIFICACIÓN.....	21
3.1 IMPACTO AMBIENTAL	21
4. HIPÓTESIS.....	22
4.1 HIPÓTESIS EXPERIMENTAL	22
4.2 HIPÓTESIS ESTADÍSTICA	22
5. MARCO REFERENCIAL.....	23
5.1 MARCO TEÓRICO	23
5.1.1 Generalidades de los suelos.....	23
5.1.2 Degradación de los suelos.....	25
5.1.3 Erosión.....	26
5.1.4 Daños causados por procesos erosivos.	26
5.1.5 Parcelas de escorrentía.	26
5.2 MARCO LEGAL.....	26
5.3 MARCO CONTEXTUAL	29
5.3.1 Departamento del Putumayo.	29
5.3.2 Subregión Andino-Amazónica o Valle de Sibundoy.....	29
5.4 MARCO CONCEPTUAL	31
5.4.1 Suelo.....	31
5.4.2 Erosión.....	31
5.4.3 Erosión hídrica.	31
5.4.4 Degradación del suelo.	31

5.4.5 Degradación por la lluvia.....	31
5.4.6 Sellado y encostramiento del suelo.	31
5.4.7 Sedimentación.	31
5.4.8 Erosión Laminar.....	32
5.4.9 Erosión en surcos.	32
5.4.10 Erosión en cárcavas.	32
5.4.11 Longitud de la Pendiente.	32
5.4.12 Grado de la pendiente.....	32
5.4.13 Parcela de escorrentía.	32
6. METODOLOGÍA	33
6.1 ÁREA DE ESTUDIO	33
6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	33
6.2.1 Campo experimental.....	34
6.2.2 Sistema receptor.....	35
6.3 VARIABLES EVALUADAS.....	36
6.4 MUESTREO.....	36
6.4.1 Física de suelos.	36
6.4.2 Química de suelos.	38
6.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	39
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
7.1 ERODABILIDAD DEL SUELO	40
7.1.1 Erosión en los tres tratamientos evaluados.	40
7.2 SUELO ERODADO CON RELACIÓN A ALTURA DE PRECIPITACIÓN	43
7.3 PROPIEDADES FÍSICAS	46
7.3.1 Densidad aparente.....	46
7.3.2 Densidad real.....	48
7.3.3 Porosidad.....	49
7.3.4 Humedad gravimétrica.....	52
7.3.5 Humedad volumétrica.....	53
7.3.6 Color.....	54
7.3.7 Textura.....	57

7.4 Química de suelos.	58
8. CONCLUSIONES	73
9. RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS.....	85

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Descripción de tratamientos para evaluar susceptibilidad a la erosión hídrica mediante parcelas de escorrentía en el cultivo de maíz.....	34
Cuadro 2. Variables y técnicas utilizadas.	36
Cuadro 3. Pérdida de suelo en cada uno de los tratamientos.....	40
Cuadro 4. Análisis ANOVA para suelo erodado por tratamientos.....	41
Cuadro 5. Prueba de Tukey para suelo erodado.	41
Cuadro 6. Suelo erodado con relación a altura de precipitación.....	43
Cuadro 7. P valor de algunas variables físicas evaluadas en los tres tratamientos.	46
Cuadro 8. Clasificación de la porosidad total del suelo.....	51
Cuadro 9. Prueba de Tukey para porosidad a profundidad de 15 – 30 cm.....	51
Cuadro 10. Prueba de Tukey para humedad gravimétrica.	52
Cuadro 11. Prueba de Tukey para humedad volumétrica.....	53
Cuadro 12. Análisis químico de suelos.	59
Cuadro 13. Estimativos de pH para análisis de suelos con fines agrícolas.	60
Cuadro 14. Estimativos relacionados con el contenido de materia orgánica.	62
Cuadro 15. Estimativos para fósforo (P), Calcio (Ca), magnesio (Mg) y Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	63
Cuadro 16. Estimativo de fósforo y elementos menores.....	66
Cuadro 17. Estimativo de Bases intercambiables.....	66
Cuadro 18. Estimativo de Aluminio intercambiable.....	67
Cuadro 19. Estimativo para el contenido de Nitrógeno total.	70
Cuadro 20. Estimativos de carbono orgánico %.	71

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación Geográfica.....	30
Figura 2. Localización municipio de Sibundoy y los tratamientos.	33
Figura 3. Campo experimental.....	35
Figura 4. Sistema colector y tanque colector.	35
Figura 5. Muestreo en campo.	37
Figura 6. Toma de muestras disturbadas.	37
Figura 7. Toma de muestras sin disturbar.	38
Figura 8. Toma de muestras para análisis químico.	39
Figura 9. Promedio de suelo perdido en cada uno de los tratamientos.	42
Figura 10. Erosión con relación a la precipitación por tratamiento.....	44
Figura 11. Promedio de densidad aparente en cada uno de los tratamientos.	47
Figura 12. Promedio de densidad real en cada uno de los tratamientos.	48
Figura 13. Promedio de porosidad en cada uno de los tratamientos.	50
Figura 14. Promedio de humedad gravimétrica en los tratamientos.	52
Figura 15. Promedio de humedad volumétrica en los tratamientos.	54
Figura 16. Porcentaje de variación de color en la profundidad 0-15 cm.	55
Figura 17. Porcentaje de variación de color en la profundidad 15 -30 cm.	56
Figura. 18. Variación en la distribución del tamaño de las partículas (%) en los tres tratamientos evaluados.....	58
Figura 19. Disponibilidad de nutrientes de acuerdo al pH.....	61

INTRODUCCIÓN

La degradación del recurso suelo es uno de los principales problemas relacionados con la agricultura (disminución en productividad y en calidad) y con el medio ambiente (pérdida de la capacidad regulatoria). Según (Rivera, 2008) la trascendencia del deterioro del recurso suelo radica en que tiene un fuerte impacto en puntos críticos como la seguridad alimentaria, la disminución de la cantidad y de la calidad del recurso agua, la pérdida de la biodiversidad y el cambio climático global.

En Colombia la agricultura, es considerada como un sector de gran importancia para el desarrollo del sistema socioeconómico existente, puesto que ha contribuido al total del PIB del país con un porcentaje que oscila entre 10 y 14% desde 1994 (DANE, 2009). Sin embargo, durante mucho tiempo esta actividad ha sido considerada con capacidad de generar impactos negativos en el ambiente, al ser susceptible de provocar daños en el entorno, mientras no se empleen prácticas correctas (Leibovich y Estrada, 2008).

El establecimiento de los sistemas de producción agrícolas (extensivos e intensivos) ocasiona la remoción de la cobertura del suelo, lo cual lo hace susceptible a procesos de erosión, resultando en continuas pérdidas de su capacidad productiva, con fuerte impacto en la calidad de agua en la parte baja de las cuencas (FAO, 2005, citado por Rivera 2008). Siendo la erosión hídrica una de las de mayor impacto al producirse el desprendimiento, transporte y depósito de las partículas de suelo por acción de factores como la energía cinética, la escorrentía en movimiento y la gravedad, sujeto a aspectos como clima, relieve, tipo de suelo y sistema de producción (Yapur, 2010).

El Valle de Sibundoy basa su economía en el sector agropecuario, donde el suelo resulta de vital importancia para el desarrollo de sus procesos productivos ocasionando impactos sobre este recurso edáfico; razón por la cual se realizó esta investigación donde se evaluó la susceptibilidad a la erosión hídrica en el sistema de producción de maíz mediante la implementación de 9 parcelas de escorrentía en pendientes del 15% al 20%, en tres tratamientos: T0 suelo desnudo, T1 y T2 suelos con y sin incorporación de residuos de caña de maíz, cuyas variables evaluadas fueron cantidad de suelo erodado y la relación existente con la altura de precipitación, así como las propiedades físicas y químicas de los lotes en estudio ubicados en la finca Eucalipto barrio Fátima del municipio de Sibundoy Putumayo.

1. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de la actividad agrícola presenta un impacto significativo sobre los componentes del medio ambiente, ocasionando potenciales afectaciones incluso superiores a las de determinados sectores industriales; al destruir ecosistemas naturales, provocando cambio de condiciones ecológicas y estructurales del suelo, conservación y movilidad del agua, y disminución en las poblaciones de flora y fauna (Ortiz, 2013).

En Colombia la ampliación de la frontera agrícola ha constituido uno de los principales problemas ambientales, debido a la implementación de modelos de desarrollo inadecuados, que generan un fuerte cambio en la vocación y el uso del suelo (Fajardo, 2001., citado por Ortiz, 2013). Ocasionando fenómenos como la erosión, entendida como la remoción del material superficial terrestre por acción del agua o del viento (Cisneros *et al.*, 2012).

Las proyecciones mundiales sobre el fenómeno erosivo son preocupantes, se calcula que, al actual ritmo de degradación de suelos, la superficie cultivable del planeta pasará de 1.500 millones de hectáreas que se poseían en 1975, a 1.000 millones, en el año 2025. Es decir, la pérdida de suelos afectará posiblemente a una tercera parte de la superficie arable de la tierra. En Colombia, las previsiones pueden ser del mismo orden, aunque el país todavía no tiene claro cuál es la superficie de suelos que se pierde por año por efecto de las actividades agropecuarias. Puesto que mientras el IDEAM reporta que en el año 2000 el país tenía cerca del 25% de sus tierras con procesos erosivos severos o muy severos, el IGAC reportaba para esa misma época solamente alrededor del 4%, con estos grados de erosión (León y Rodríguez, 2003).

Los diagnósticos ambientales de carácter nacional demuestran altos índices de procesos erosivos en la región Caribe, Andina y Orinoquia, siendo estas áreas las de mayor afectación debido a la vulnerabilidad de sus suelos y su difícil recuperación para usos agrícolas; de igual manera se incluye a la Amazonia y al Choco biogeográfico regiones cubiertas por bosques o sabanas, en las que no existe la erosión, o es un proceso muy débil (León y Rodríguez, 2003).

En síntesis las pérdidas de suelos por erosión afectan la mayor parte del territorio nacional, sin embargo el estado Colombiano no posee información continua sobre el fenómeno erosivo, que de acuerdo con la secretaria de planeación departamental del Putumayo en áreas como el municipio de Sibundoy se ha incrementado en los últimos años debido a la agricultura intensiva que se viene desarrollando en zonas de ladera con un aumento significativo en el riesgo de

erodabilidad en épocas de lluvia (Integración de los planes de ordenamiento territorial, 2004).

En este sentido dada la importancia del suelo como medio fundamental para la actividad agrícola en el municipio de Sibundoy, se desarrolló esta investigación, donde se evaluó el efecto de la pérdida de suelo generado en zonas de producción agrícola de maíz (*Zea mays*) como uno de los renglones más significativos a nivel económico en el municipio de Sibundoy a través del uso de parcelas de escorrentía determinando algunas propiedades químicas y físicas del como densidad aparente (D_a), densidad real (D_r), porosidad, color, textura, humedad gravimétrica y volumétrica, así como suelo erodado y su relación con altura de precipitación.

1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué efectos tiene la incorporación y no incorporación de residuos vegetales sobre la erosión hídrica en un sistema de producción maíz (*Zea mays*), en el Municipio de Sibundoy departamento del Putumayo?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar con parcelas de escorrentía la susceptibilidad a la erosión hídrica de un suelo con pendientes entre el 15% al 20%, con incorporación y no incorporación de residuos de cosecha en un sistema de producción maíz (*Zea mays*) en el municipio de Sibundoy Putumayo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar suelo erodado en cada uno de los tratamientos.
- Relacionar la altura de precipitación (mm) con la pérdida de suelo en los tres tratamientos.
- Evaluar propiedades algunas físicas y químicas
- Determinar mediante un análisis estadístico el comportamiento de los tratamientos evaluados.
- Evaluar el efecto de la incorporación de residuos vegetales en el sistema de producción.

3. JUSTIFICACIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable a una escala temporal humana y el soporte básico imprescindible para la existencia de ecosistemas terrestres, ya sean naturales o modificados por las actividades humanas. Los ecosistemas agrícolas son particularmente sensibles ante la degradación del suelo dado que su productividad depende en última instancia de las cualidades y del estado de conservación de este.

Como resultado de los procesos erosivos, el suelo manifiesta un descenso neto de su fertilidad natural y productividad biológica. La erosión produce la reducción del espesor efectivo del perfil edáfico y, por tanto, del volumen de suelo explotable por la vegetación o el cultivo. Dado que la pérdida de material afecta fundamentalmente a las capas superficiales del suelo, en las que reside la mayor fertilidad, su pérdida supone una merma significativa de los contenidos de materia orgánica y nutriente (Saturnino *et al.*, 2011).

Es importante destacar que la erosión del suelo se ha incrementado por el uso intensivo de las tierras agrícolas y al manejo inadecuado, y por lo tanto la dinámica del paisaje ha cambiado los procesos involucrados en la erosión son complejos y se encuentran muy interrelacionados. Los modelos dinámicos que se relacionan con varios escenarios son de gran utilidad para el estudio de estos procesos, debido a que representan posibles situaciones futuras mientras que al mismo tiempo esclarecen las fuerzas conductoras detrás de ellas y muestran las consecuencias.

En el municipio de Sibundoy la actividad agrícola es uno de los pilares de la economía local y regional lo que ha originado un incremento en sus índices de productividad, estableciendo en zonas de pendientes inestables ocasionando así que la erosión se haga más evidente en las épocas de invierno por tal razón esta investigación se enfatizó en resaltar la importancia de la cobertura del suelo y la incorporación de los residuos de cosecha como una forma efectiva de reducir la cantidad de suelo perdido por acción de la lluvia a través de la implementación de parcelas de escorrentía para lo cual se evaluaron tres tratamientos: T0 suelo desnudo, T1 y T2 lotes sin y con incorporación de residuos de cosecha.

3.1 IMPACTO AMBIENTAL

El impacto que se desea obtener es determinar el efecto de la precipitación sobre la erosión hídrica en pendientes entre el 15% al 20% y con manejos de incorporación de residuos vegetales de caña de maíz y residuos de cosecha de frijol voluble, que permitan evaluar la cantidad de suelo erodado y a su vez tomar decisiones sobre un manejo sostenible en el sistema de producción evaluado.

4. HIPÓTESIS

4.1 HIPÓTESIS EXPERIMENTAL

El efecto de la erosión generado en pendientes entre el 15% al 20% incorporando residuos de cosecha se puede medir con parcelas de esorrentía

4.2 HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$. No existen diferencias estadísticas significativas en los tres (3) tratamientos respecto al efecto de la incorporación de residuos de cosecha en pendientes entre el 15% al 20% en el sistema de manejo maíz por medio de parcelas de esorrentía.

Ha: $\mu_j \neq \mu_k; j \neq k$. Por lo menos en un tratamiento se obtiene un valor medio diferente en la erosión que se produce en suelos con incorporación de residuos de cosecha en pendientes entre el 15% al 20% en un sistema de producción de maíz.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 Generalidades de los suelos. El suelo es uno de los ecosistemas más complejos y diversos que existen en la naturaleza. Es un ambiente que combina las fases sólida, líquida y gaseosa formando una matriz tridimensional. La compleja naturaleza físico-química, su estructura porosa y el contenido de materia orgánica en diversas fases de descomposición y complejidad, proporcionan una heterogeneidad trófica y de hábitat que permite en él la coexistencia de una gran diversidad de organismos (Alzugaray *et al.*, 2008).

Los factores asociados, con la formación del suelo, son: clima topografía, tiempo, material de origen, y organismos vivos. La intensidad e interacción de estos factores han provocado una gran variabilidad en las propiedades del suelo en el mundo (Martínez y Walthall, 2000).

El manejo sustentable de los recursos naturales debe basarse en el conocimiento de sus características y funcionalidad, cuyo conocimiento es importante a la hora de tomar decisiones para el uso más adecuado del mismo a nivel predial, y disponer de instrumentos eficaces de orientación del desarrollo del territorio, la regulación de la utilización, ocupación y transformación de su espacio físico, en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales (Heredia *et al.*, 2006).

La acción de la población humana a lo largo del tiempo y del espacio ha ido alterando el ambiente, produciendo fragmentación de hábitats y su consecuente pérdida de biodiversidad (Gaspari y Bruno, 2003).

Jaramillo (2008), afirma que una característica dominante de los suelos es su heterogeneidad, aún en pequeñas áreas que podrían considerarse como homogéneas. Esta heterogeneidad induce una variabilidad en sus propiedades, que puede llegar a ser de considerable magnitud y que puede afectar grandemente las generalizaciones y predicciones que se hagan con ellas. La variabilidad es una condición inherente a los suelos y su origen está influenciado tanto por condiciones naturales (variados factores y procesos pedogenéticos), como por condiciones inducidas por el uso y el manejo de los mismos. La variabilidad del suelo depende, aparte del tipo de suelo, de la propiedad que se analice, siendo más variables las propiedades químicas que las físicas. Además, hay menor variabilidad en las propiedades del suelo, en su condición natural, que cuando ha estado sometido a uso.

Aquellas propiedades que más se alteran por el manejo del suelo serán las que presenten la mayor variabilidad. Se estudió la variabilidad espacial de algunas

propiedades químicas del epipedón de un Andisol de régimen de humedad ácuico. La mayoría de las propiedades estudiadas presentaron una dependencia espacial alta, con una variabilidad estructurada de más del 50% de la variabilidad total y con rango relativamente corto de 20 m en promedio, situación que puede estar reflejando una alta intensidad de uso y manejo del suelo en actividades agropecuarias como la aplicación de fertilizantes y enmiendas.

- **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).

- **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).

5.1.2 Degradación de los suelos. Según Matlock, citado por Chaveli *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 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 citado por Chaveli *et al.*, 2006).

La degradación de los recursos naturales y la contaminación ambiental son los problemas con mayor incidencia en los trópicos. En la actualidad existen áreas extensas de suelos afectadas por procesos de degradación irreversibles como erosión acelerada, la desertificación, compactación, endurecimiento, acidificación, reducción en el contenido de materia orgánica, disminución de la biodiversidad genética y agotamiento de la fertilidad natural del suelo. El área degradada en el trópico por diferentes procesos es estimada en 915×10^6 ha por erosión hídrica, 474×10^6 ha por erosión eólica, 50×10^6 ha por degradación física y 213×10^6 ha por degradación química (Velásquez *et al.*, 2007).

- **Degradación física de los suelos.** Se refiere a la reducción de la calidad con relación a la productividad de los cultivos. Su principal efecto es el deterioro de la estructura del suelo manifestado en problemas de sellado, encostrado, compactación, drenaje deficiente, pobre aireación, y erosión (Lozano *et al.*, 2000).

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 Erosión. Es un proceso de arrastre del suelo por acción del agua o del viento, o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas del suelo causado por el agua y el viento. (Suarez, 1980).

La erosión del suelo es una forma severa de degradación física. Se estima que cerca del 80% de la tierra agrícola en el mundo sufre erosión moderada a severa y 10% erosión ligera a moderada (Lal y Stewart, 1995). El 40% del territorio colombiano presenta erosión de muy ligera a muy severa y la zona andina la más afectada con 88% del área afectada por erosión hídrica (Olmos y Montenegro, 1987).

Por lo general, los problemas ocasionados por la erosión y movimientos masales son controlados en forma puntual (no integral) mediante obras mecánicas de concreto propias de ingeniería civil. Estas obras suelen tener un costo superior al valor comercial de la tierra, y generalmente no resuelven el problema en forma definitiva.

- **Erosión hídrica (agua).** Constituye uno de los principales procesos de pérdida del suelo y representa una de las formas más completas de degradación, englobando tanto la degradación física del suelo como la química y la biológica (Colomer, 2001).

5.1.4 Daños causados por procesos erosivos. Al erosionarse el suelo se pierde materia prima, material que hace parte de los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo; se pierde el medio para sostener las raíces de las plantas, existe un desequilibrio entre el agua superficial y el suelo, se pierde el hábitat de muchos organismos afectando los ecosistemas, los sistemas productivos y la seguridad alimentaria (Gascó, 1998).

5.1.5 Parcelas de escorrentía. Estas parcelas se utilizan para recolectar los sedimentos removidos, involucrando la captación del caudal líquido y sólido (Morgan 1997; Yataco 2007; citado por Vega 2008).

Mutchler *et al.*, 1994 citado por Vega 2008, señala que las parcelas de escorrentía son una de las metodologías más conocidas para la evaluación directa de la erosión del suelo. Este método de investigación permite controlar muchas condiciones en que ocurren los procesos erosivos, como el sellamiento derivado del impacto de las gotas de lluvia.

5.2 MARCO LEGAL

El trabajo de investigación se encuentra basado en una serie de ideas y conceptos constitucionales y legales, los que se resumen a continuación:

Según la 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.

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.

Carta Mundial de los Suelos en la Resolución VI de la Conferencia Mundial de la Alimentación en 1974 (Roma).

Se establece la Carta Mundial de los Suelos, como base para una cooperación internacional con miras a la utilización más racional de los recursos de tierras.

El suelo es un recurso cada vez más limitado y solo un pequeño porcentaje de este contribuye actualmente a la alimentación de la población mundial que probablemente alcanzará los 6.000 millones de habitantes, razones por las cuales se pide una utilización eficaz del suelo, teniendo en cuenta el equilibrio ecológico y la protección del medio físico, combatiendo la degradación y la desertificación de la tierra.

Teniendo en cuenta las necesidades alimentarias de la humanidad, entre ellas, la erradicación de la malnutrición, puede satisfacerse mediante:

- La intensificación de la producción de los cultivos alimentarios.
- La utilización de nuevos suelos que reúnan las condiciones de una producción sostenible.
- Establecimiento de mejor utilización de pastizales y bosques.

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, por ello es urgente necesidad el incremento de la producción alimentaria de fibras y maderas.
- La degradación de los suelos repercute directamente en la agricultura, al disminuir los rendimientos de los cultivos y los recursos hídricos; por ello es responsabilidad de los gobiernos, motivar e incentivar a la población para la producción de alimentos, dando el uso racional y sostenible a los recursos disponibles.
- La concesión de incentivos apropiados para la agricultura es condición básica para lograr un buen aprovechamiento de los suelos.
- La ayuda que se preste a los agricultores y otros usuarios deberá estar orientada hacia los servicios prácticos para lograr una buena explotación de las tierras.
- La adopción de medidas válidas de ordenación y conservación de suelos en explotaciones agrícolas, lo que permitirá explotar las tierras bajo el concepto de sostenibilidad.

Del 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.

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.

5.3 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. Limita al norte con el departamento del Cauca, al este limita con los departamentos del Caquetá y Amazonas, al sur limita con las Repúblicas del Ecuador y Perú y al oriente limita con el departamento de Nariño. El territorio se extiende de occidente a oriente desde el pie de la cordillera oriental hasta la llanura amazónica, entre los ríos San Miguel y Putumayo al sur, el Cascabel al norte y el Caquetá al oriente (Ramírez y Pinzón, 1987).

5.3.2 Subregión Andino-Amazónica o Valle de Sibundoy. Región noroccidental del departamento, conformada por los municipios de Colón, Santiago, Sibundoy y San Francisco, con una superficie total estimada de 960 km²; 3,76% del total territorial departamental; concentra el 11,2% de la población del departamento; distribuida en un 54,8% a nivel rural; su dinámica económica gira en torno a la producción agropecuaria, especialmente dirigida a la ganadería de leche y el cultivo del frijol. El desarrollo integrado de los cuatro municipios que la conforman es evidente; éstos comparten identidades culturales, sociales, parentescos familiares, económicos y políticos.

El Valle de Sibundoy 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. Sus suelos son en su mayoría orgánicos, formados como resultado

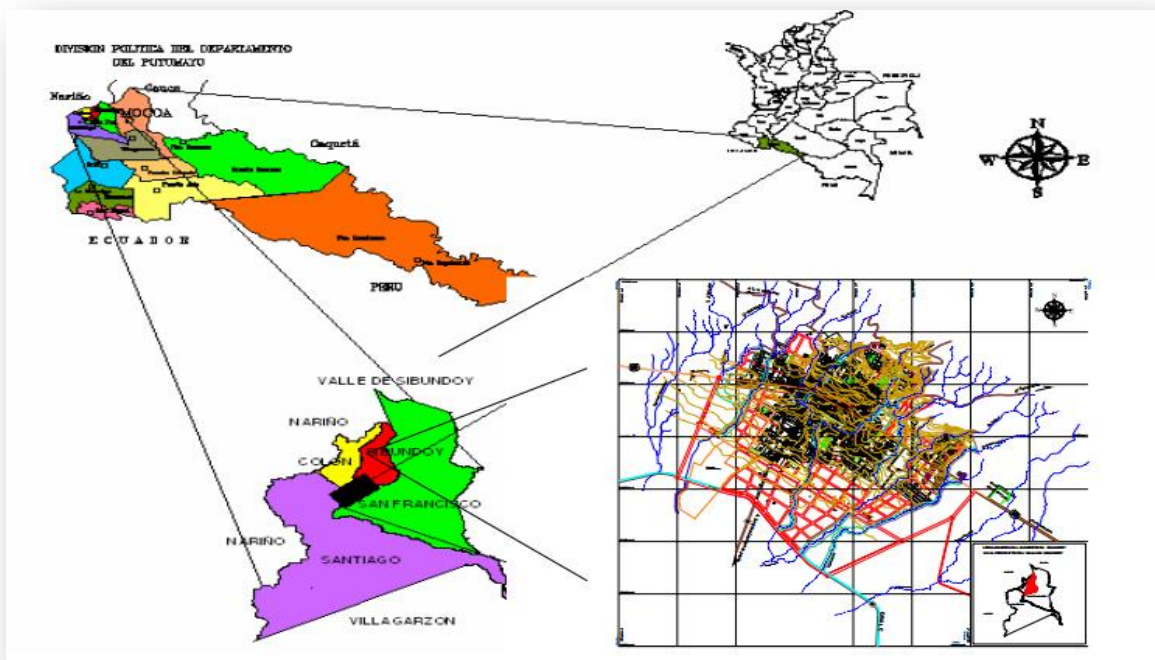
de condiciones de saturación continua de agua e insuficiente circulación de oxígeno lo cual resulta en una incipiente y lenta descomposición de la materia orgánica que permite su acumulación. La fertilidad de los suelos es considerada de mediana a baja.

La parte plana del valle es pantanosa e inundable, debido a su escasa pendiente. La ganadería de tipo extensivo, dedicada principalmente a la producción de leche, cría y levante, es la actividad económica dominante en el valle. En cuanto a los principales productos agrícolas se destacan el maíz, el frijol, algunos tubérculos y frutas (Ramírez y Pinzón, 1987).

Municipio de Sibundoy. Está localizado al noroccidente del departamento del Putumayo, con coordenadas geográficas 1° 12' 12" latitud norte y 76° 51' 15" longitud oeste. Tiene una extensión de 90.828 Km², que corresponden al 0.36% del departamento del Putumayo (Figura 1) (Castro y Martínez, 2008).

La altitud de la cabecera municipal es de 2.200 m.s.n.m y su temperatura media es de 16°C, la precipitación anual de 1.500 mm y la humedad relativa anual del 80%. Las épocas de invierno (lluvias) se presentan en los meses de mayo y agosto y las de verano (seco) entre diciembre y febrero (Ramírez y Pinzón, 1987).

Figura 1. Ubicación Geográfica



Fuente: (Burbano, 2008)

5.4 MARCO CONCEPTUAL

5.4.1 Suelo. Sistema muy complejo que sirve como soporte de las plantas y como 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 insectos y microorganismos (hongos y bacterias) que influyen en la vida y desarrollo de las plantas (Murgueito *et al.*, 2000 citado por Aldana 2005).

5.4.2 Erosión. Proceso de arrastre de granos por la acción del agua o del viento, causado por diferentes factores climáticos; la nieve, el viento y los cambios en la temperatura. Estos factores físicos causan el desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas del suelo como arcilla, limo y arena por las corrientes superficiales de agua o el viento (Kappelle, 2009).

5.4.3 Erosión hídrica. Proceso de disgregación de las partículas del suelo por la acción del agua el cual culmina con el depósito de los materiales transportados por la corriente en áreas de sedimentación (Mintegui y Lopez 1990 citado por Vega 2008).

5.4.4 Degradación del suelo. Cambio de una o más de sus propiedades a condiciones inferiores a las originales, por medio de procesos físicos, químicos y/o biológicos. En términos generales la degradación del suelo provoca alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva (Yapur, 2010).

5.4.5 Degradación por la lluvia. Acción generalizada, si el suelo está sin cobertura; pero la desagregación por el escurrimiento es una acción dirigida que actúa sobre porciones de terreno en el cual éste se concentra con velocidades erosivas (Yapur, 2010).

5.4.6 Sellado y encostramiento del suelo. La rotura y dispersión de las partículas por efecto de las gotas de agua en el suelo es la causa principal del proceso de sellado superficial al igual que el proceso de encostramiento superficial que resulta de la degradación de la estructura y al rápido secado de un suelo húmedo. Tanto el sellado como el encostramiento disminuyen la porosidad y por tanto favorecen la escorrentía superficial aportando a la erosión del suelo afirma (Almorox *et al.*, 2010).

5.4.7 Sedimentación. Proceso de deposición del material erosionado y transportado, sobreviene a veces lejos del lugar de origen, pudiendo producir tanto o más daño que la erosión misma. La deposición o sedimentación ocurre cuando la velocidad del escurrimiento disminuye, realizándose en forma selectiva, primero se depositan los agregados y la arena y luego, a mayor distancia, el limo y la arcilla.”(Marelli, H. 2004 citado por Yapur, 2010).

5.4.8 Erosión Laminar. Los procesos de erosión laminar o entre surcos están dominados por el impacto de las gotas de lluvia, más que por el escurrimiento superficial. Es la combinación dinámica del proceso del desprendimiento y transporte de partículas por impacto de las gotas de lluvia (salpicadura) con el proceso de transporte por escurrimiento o flujo superficial. (Meyer 1975 citado por Yapur, 2010).

5.4.9 Erosión en surcos. Consiste en la remoción del suelo situado en regiones donde ocurre una mayor concentración de la esorrentía en la vertiente. En la medida que aumenta la velocidad del flujo, el agua incide en el suelo y se forman los arroyuelos, que son canales continuos de anchura reducida y escasa profundidad. La concentración de agua al escurrir por la superficie obedece fundamentalmente a las condiciones de la micro-topografía, irregularidades y desniveles superficiales del terreno (Vercarcel, 1989).

5.4.10 Erosión en cárcavas. Las cárcavas son canales profundos y de paredes empinadas que se encuentran en zonas con pendientes irregulares y con subsuelos profundos y frágiles. Son generalmente de carácter permanente. Evolucionan a partir de la combinación entre pequeños regueros hasta alcanzar un desarrollo donde ya no puedan ser eliminadas con las operaciones normales de labranza agrícola (Kirkby y Morgan, 1984 citado por Vercarcel 1989).

5.4.11 Longitud de la Pendiente. La mayor longitud de la pendiente hace aumentar el espesor de la lámina de escurrimiento o carga hidráulica (Yapur, 2010).

5.4.12 Grado de la pendiente. El grado de la pendiente influye en la salpicadura de las gotas de lluvias, en el desprendimiento de las partículas de suelo, en el aumento de la velocidad de escurrimiento de la lámina de agua y en la menor capacidad de infiltración del suelo (Yapur, 2010).

5.4.13 Parcela de esorrentía. Son porciones de terreno de tamaño variable, limitadas por paredes que aíslan completamente el agua de esorrentía, evitando el paso de ésta tanto hacia afuera como hacia adentro de la parcela. El agua que escurre es hacia el final concentrada en un embudo colocado en la base, de donde por medio de un canal pasa a uno o varios tanques donde se recolectan las muestras para el análisis (León, 2001).

6. METODOLOGÍA

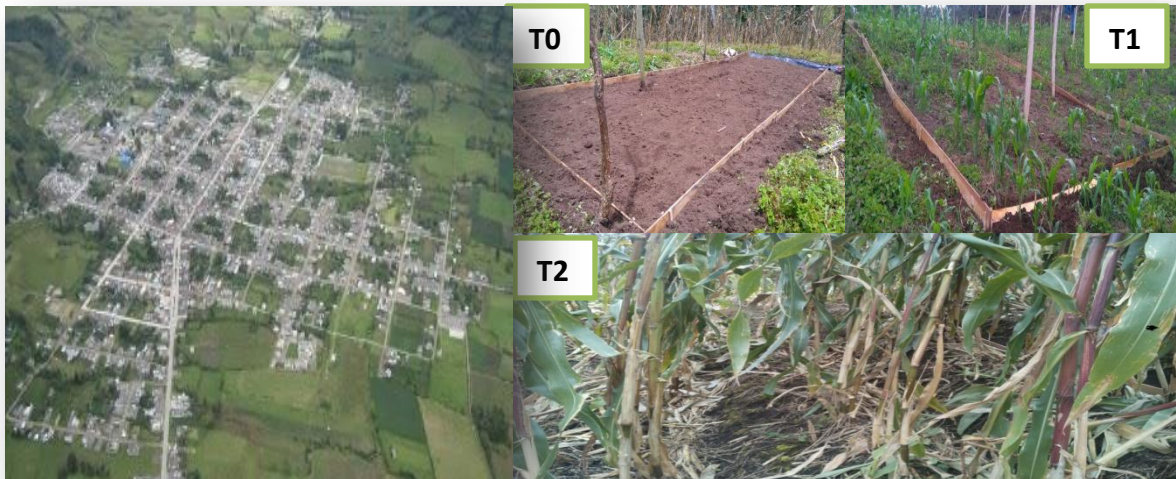
La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación denominada: "Evaluación de la susceptibilidad a la erosión hídrica en el sistema de producción de maíz (*Zea mays*) utilizando parcelas de escorrentía en el municipio de Sibundoy Putumayo" considero los siguientes aspectos:

6.1 ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en el municipio de Sibundoy que se enmarca dentro de las coordenadas N 01°12'25" - W 76°55'12", de acuerdo con el plan de ordenamiento de la cuenca alta del río Putumayo (2009), se encuentra ubicado a una altura de 2100 msnm, temperatura promedio mensual anual 16 °C, precipitación anual 1500 mm, humedad relativa 81 %, pertenece a la zona de vida según la clasificación de Holdridge al Bosque húmedo montano bajo (bh-MB).

Las parcelas de escorrentía se ubicaron en la finca Eucalipto de propiedad del señor Edgar Oviedo Díaz con las coordenadas N 01°12'O3.5" - W 76°54'19.6" ubicada en el barrio Fátima (Figura 2).

Figura 2. Localización municipio de Sibundoy y los tratamientos.



6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Para llevar a cabo la investigación fue importante conocer las pendientes del suelo donde se estableció el cultivo determinando las que oscilaron entre el 15% al 20% siendo estas las más representativas en la zona de estudio, tomada con un caballete, además se tuvo en cuenta el manejo que el productor hace a la caña de maíz que sirvió como tutor al sistema maíz relevo frijol establecidos anteriormente.

Una vez seleccionadas las áreas de muestreo en la finca y determinada la pendiente más representativa se procedió a la construcción de 9 parcelas de escorrentía cuyas dimensiones fueron de 3 metros de ancho por 9 metros de largo con un área total de 27 m² cada una.

La producción de maíz relevo frijol voluble en forma intensiva en el municipio de Sibundoy se inició aproximadamente hace 20 años, pero para la investigación se tomó un tiempo de 10 años de explotación continua que se realiza en la finca Eucalipto.

Una vez determinada el área de estudio y las pendientes se establecieron los siguientes tratamientos (Cuadro 1).

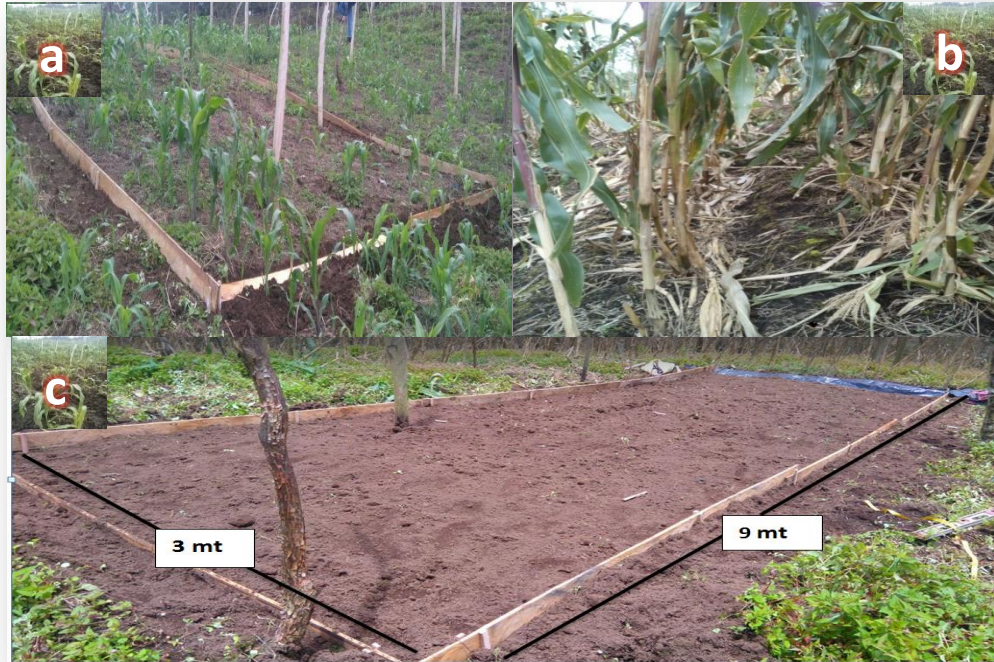
Cuadro 1. Descripción de tratamientos para evaluar susceptibilidad a la erosión hídrica mediante parcelas de escorrentía en el cultivo de maíz.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
T0	Suelo desnudo como testigo en pendientes del 15 al 20%
T1	Lotes de cultivo de maíz (<i>Zea mays</i>), sin incorporar residuos de cosecha, en suelos con pendiente de 15% al 20%.
T2	Lotes de cultivo de maíz (<i>Zea mays</i>) incorporando residuos de cosecha en suelos con pendientes que oscilen entre 15 % al 20%

Para la evaluación de los tratamientos se realizaron 3 repeticiones (parcelas de escorrentía) en cada uno de ellos, determinando la cantidad de suelo erodado en los días que se presentó precipitación. La implementación de parcelas de escorrentía nos permitió un mejor control del proceso de erosión.

6.2.1 Campo experimental. Fue un campo en forma rectangular ubicado en el sentido de la pendiente del terreno, el cual se delimitó en su borde superior, así como en sus bordes laterales con tablas de madera incrustadas en el suelo con el fin de impedir el ingreso de escorrentía proveniente de campos aledaños, las dimensiones del campo experimental fueron de 3 metros de ancho por 9 metros de largo, siendo este tamaño representativo del medio natural que se estudió (Figura 3).

Figura 3. Campo experimental.



a) Suelo sin incorporación de residuos (T1) b) suelo con incorporación de residuos de cosecha (T2) c) Suelo desnudo T0.

6.2.2 Sistema receptor. El sistema receptor consta de un canal colector situado en la parte inferior del campo experimental recubierto de plástico negro calibre 8 y un tanque receptor, donde se almacenará el agua y los sedimentos producidos por la escorrentía superficial de la parcela (Figura 4).

Figura 4. Sistema colector y tanque colector.



a) Sistema colector

b) Tanque colector

La recolección se realizó después de cada evento de lluvia, determinando la cantidad de suelo erodado (kg/ha), el cual fue recogido en recipientes de aluminio para posteriormente ser llevadas al horno por 24 horas a una temperatura promedio de $\pm 105^{\circ}\text{C}$ en las instalaciones del laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo, con el objeto de cuantificar el peso del suelo seco erodado por escorrentía para cada tratamiento (Castillo, 1994., citado por Bravo *et al.*, 2013).

La determinación de la altura de precipitación con la cual se analizó la relación existente con la cantidad de suelo erodado, se realizó mediante pluviómetros artesanales (3) previamente calibrado en la estación meteorológica Michoacán del municipio de Colon, los cuales se ubicaron estratégicamente en cada uno de los tratamientos, su lectura se realizó a las 7:00 am con ayuda de una probeta pluviométrica.

6.3 VARIABLES EVALUADAS

Suelo erodado: para esta variable se recolecto el suelo pedido después de cada evento de lluvia, así como también se determinó la altura de precipitación en cada uno de los pluviómetros establecidos.

Propiedades físicas: se realizó la evaluación de algunas propiedades físicas, como se relacionan en el cuadro 2 con la metodología utilizada.

Cuadro 2. Variables y técnicas utilizadas.

Propiedad	Método de Caracterización
Color húmedo	Tabla Munsell
Textura	Bouyoucos
Densidad aparente (D_a)	Cilindro de volumen conocido
Densidad real (D_r)	Picnómetro
Porosidad (P_r)	$1 - \left(\frac{D_a}{D_r}\right) * 100$
Humedad gravimétrica	Estufa a 105°C

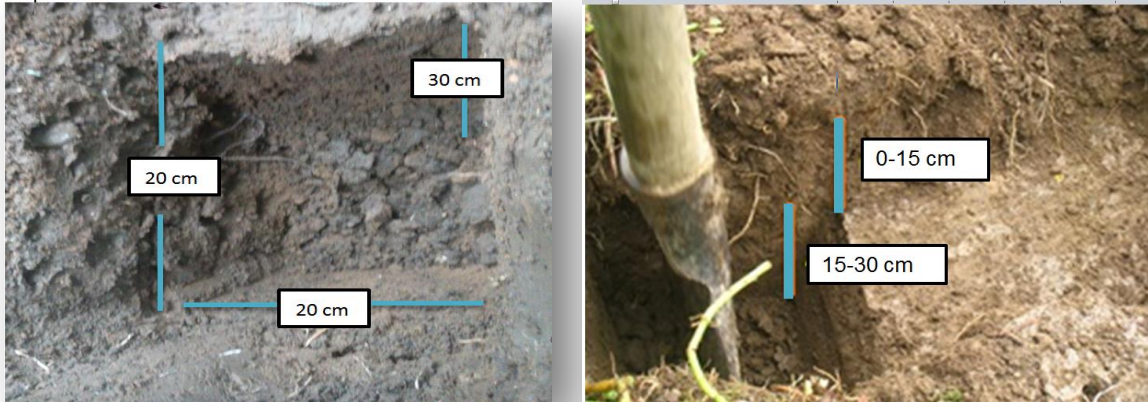
Propiedades químicas: Se realizó un análisis químico completo en cada uno de los tratamientos cuyas muestras fueron enviadas al laboratorio especializado de la universidad de Nariño.

6.4 MUESTREO

6.4.1 Física de suelos. En cada una de las unidades experimentales (9 parcelas de escorrentías) se determinaron algunas propiedades físicas del suelo, para lo

cual se realizaron en cada una de ellas, tres (3) cajuelas de 20cm x 20cm y 30cm de profundidad, en forma aleatoria en el área, tomando muestras a la profundidad del sistema radicular de las plantas de 0 a 15 cm y 15 a 30 cm (Figura 5).

Figura 5. Muestreo en campo.



En el proceso de muestreo en cada cajuela se eliminó la vegetación superficial, las muestras disturbadas se tomaron con la ayuda de una pala recta efectuando excavaciones de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm de profundidad tomando tajadas de 3 cm de espesor, una vez extraída se tomó verticalmente un pedazo de aproximadamente 5 cm de ancho a lo largo de la tajada eliminando los bordes laterales con la ayuda de un cuchillo y empacando en forma independiente en bolsas debidamente rotuladas para evaluar densidad real, color (Figura 6).

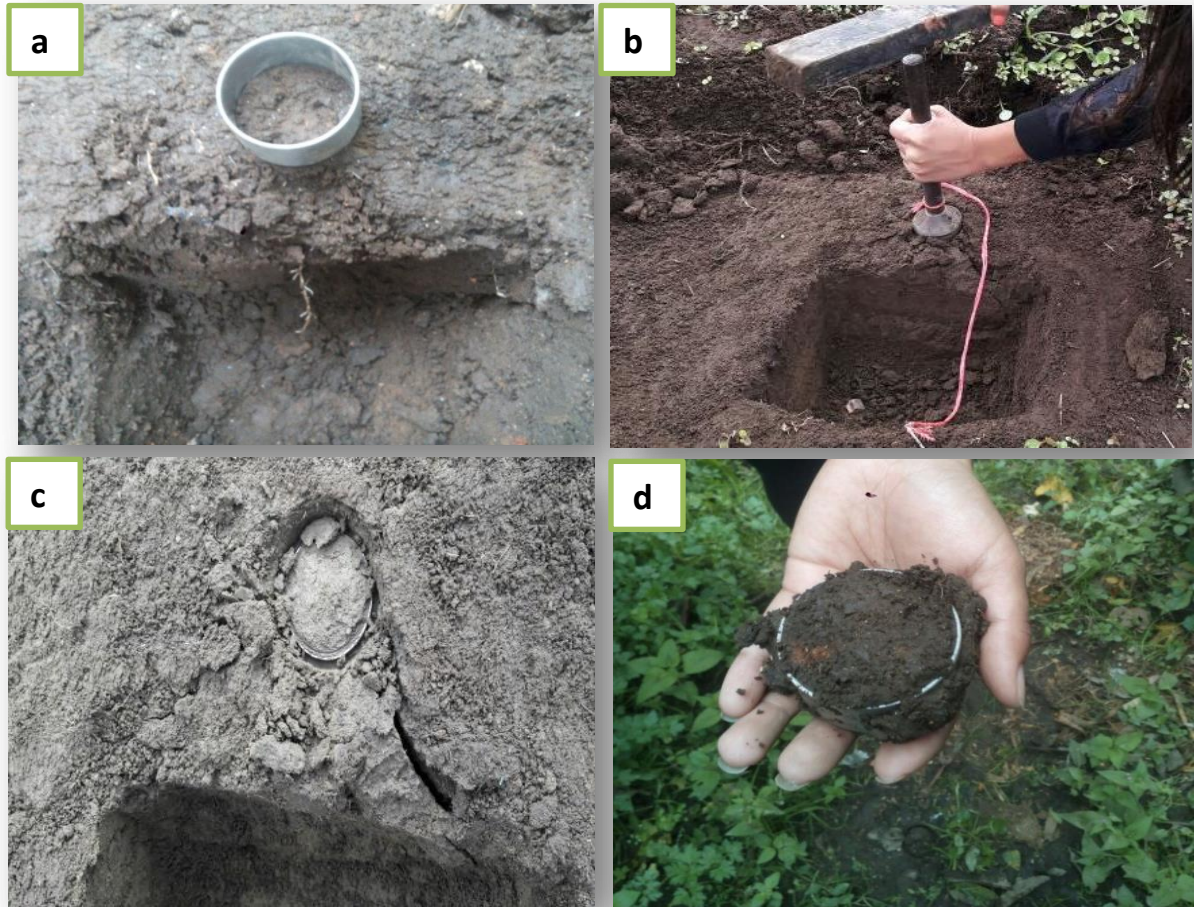
Figura 6. Toma de muestras disturbadas.



a) Toma de muestra con cuchillo b) Rótulos de muestras

Para las muestras sin disturbar que permitieron determinar densidad aparente, se utilizó anillos de acero de volumen conocido (5 cm de diámetro, 2,5 cm de alto y 2 mm de grosor) (Figura 7).

Figura 7. Toma de muestras sin disturbar.



a). Ubicación del anillo. b). Manipulación muestreador. c). Retirado de muestra. d). Enrasado de los bordes.

6.4.2 Química de suelos. El muestreo se realizó en forma de zig zag en cada uno de las parcelas de escorrentía a evaluar donde se excavaron tres puntos aleatorios con una pala realizando excavaciones en forma de V, tomando una tajada de aproximadamente 2cm a 3cm de ancho de la pared del hueco, una vez sacada la tajada se recortaron los bordes exteriores con la ayuda de un cuchillo y luego se mezclaron en un balde, para posteriormente ser empacados 500 g de suelo por cada uno de los tratamientos (Figura 8).

Figura 8. Toma de muestras para análisis químico.



a).Cajuela b). Eliminación de bordes c). Homogenización de muestras d). Muestras rótuladas

6.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La discusión de los resultados de las variables evaluadas, suelo erodado, relación entre este y la altura de precipitación, comparación de algunas propiedades físicas y químicas en los tres tratamientos se realizó mediante un análisis de los datos estadísticos con una ANOVA y un análisis de promedio de Tukey que permitió determinar si existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos y profundidades de evaluación $P < 0,05$, para lo cual, los datos obtenidos se calcularon a través del software de estadística SAS.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo se divide en tres partes: la primera reúne la información de la cantidad de suelo erodado comparando cada uno de los tratamientos y la relación existente entre altura de precipitación, en la segunda se expone la discusión de las propiedades físicas evaluadas contrastando los niveles de profundidad (0-15 cm y 15-30 cm) en cada uno de los tratamientos, desarrollándose un análisis de varianza ANOVA y una prueba de significancia de Tukey, en la tercera parte se hace un análisis comparativo entre los resultados de la química de suelos en los tres tratamientos (Anexos A, B C).

7.1 ERODABILIDAD DEL SUELO

7.1.1 Erosión en los tres tratamientos evaluados. En el cuadro 3 se presenta los montos de pérdida de suelos medidos en los tres tratamientos evaluados.

Cuadro 3. Pérdida de suelo en cada uno de los tratamientos.

Fecha	Suelo perdido T0 (kg/ ha)	Suelo perdido T1 (kg/ ha)	Suelo perdido T2 (kg/ ha)
27/04/2016	8,33	5,47	2,89
28/04/2016	51,67	201,95	13,15
29/04/2016	2,38	2,32	0,59
03/05/2016	1,60	2,52	0,77
04/05/2016	7,89	2,56	5,26
06/05/2016	10,52	29,54	2,38
07/05/2016	0,52	0,81	0,52
08/05/2016	4,15	3,35	1,35
09/05/2016	1,95	4,69	0,40
10/05/2016	0,63	0,51	0,42
11/05/2016	4,68	0,68	0,49
13/05/2016	5,86	1,42	0,69
14/05/2016	10,22	6,26	1,30
16/05/2016	2,32	1,38	0,46
17/05/2016	11,98	8,46	1,17
18/05/2016	0,48	0,28	0,31
19/05/2016	0,53	1,96	0,15
20/05/2016	2,14	0,70	0,60
21/05/2016	0,95	0,36	5,89
23/05/2016	0,77	0,62	0,22
24/05/2016	8,64	4,83	0,48

Cuadro 3. (Continuación)

Fecha	Suelo perdido T0 (kg/ Ha)	Suelo perdido T1 (kg/ Ha)	Suelo perdido T2 (Kg/ Ha)
25/05/2016	2,25	1,06	0,17
27/05/2016	11,51	14,64	1,10
28/05/2016	4,53	2,79	0,58
29/05/2016	0,44	0,19	0,25
31/05/2016	26,37	14,17	0,99
01/06/2016	9,37	5,80	0,43
02/06/2016	6,30	3,75	0,17
03/06/2016	22,07	11,64	0,74
05/06/2016	12,73	10,79	0,64

Así como también el análisis de varianza se encuentra en el cuadro 4, la cual muestra diferencias estadísticas significativas del suelo erodado en los tres tratamientos evaluados ($P < 0,05$).

Cuadro 4. Análisis ANOVA para suelo erodado por tratamientos.

Fuente de variabilidad	DF	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor-F	Valor-P
Bloque	2	3.7784889	1.8892444	2.09	0.2391
Tratamiento	2	190.1034889	95.0517444	105.16	0.0003

$P < 0,05$ existe diferencia estadística significativa.

Como se evidencia en la prueba de Tukey (cuadro 5) existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que no comparten las mismas letras en la columna.

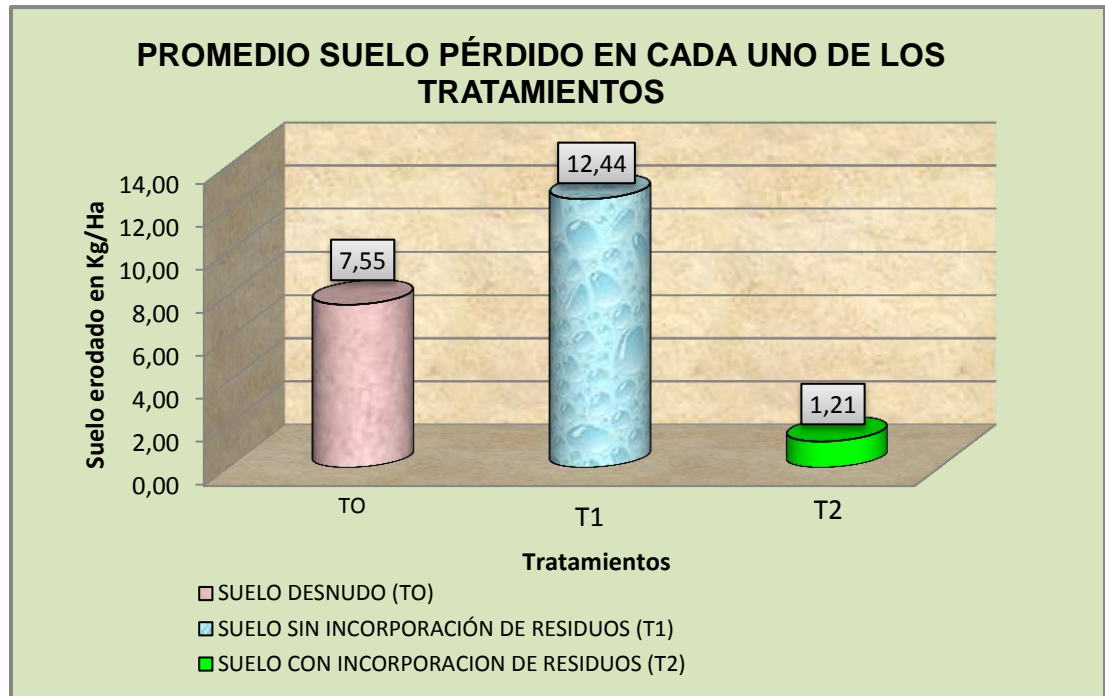
Cuadro 5. Prueba de Tukey para suelo erodado.

Agrupación de Tukey	Media (kg/ha)	N	Tratamiento
A	12.4367	3	1
B	7.5467	3	0
C	1.2100	3	2

En el cuadro 5 y en la gráfica 9 se puede evidenciar que existen diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0,05$) para los tres tratamientos evaluados donde el promedio del tratamiento con incorporación de residuos de caña de maíz

(T2) fue 1,21 kg/ha seguido por el suelo desnudo (T0) con un valor promedio de 7,55 kg/ha y finalmente la mayor pérdida de suelo se obtuvo con el tratamiento sin incorporación de residuos (T1) con 12,44 kg/ha.

Figura 9. Promedio de suelo perdido en cada uno de los tratamientos.



La figura 9 muestra los resultados promedio de suelo perdido en los tres tratamientos lo que lleva a concluir que los suelos donde se incorpora residuos de cosecha de caña de maíz disminuye los proceso erosivos, favoreciendo una mayor tasa de infiltración lo que a su vez reduce la escorrentía; al respecto la FAO (2000) afirma que al implementar una cobertura sobre el suelo esta lo protegerá de la fuerza de las gotas de lluvia disminuyendo la separación de las partículas de los agregados, que es el primer paso en el proceso de erosión hídrica.

En pendientes muy inclinadas la velocidad de la escorrentía aumentará con la pendiente, y también aumentará la capacidad de transporte de las partículas sueltas por la escorrentía. En esta situación la cobertura que está en contacto con el suelo, es muy importante, más aún que la cobertura aérea; la cobertura de contacto no solamente disipa la energía de las gotas de lluvia, sino que también reduce la velocidad de la escorrentía, y consecuentemente las pérdidas de suelo por un menor transporte de partículas (Paningbatan *et al.*, 1995 citado por FAO 2000).

Según Argueta (1996), la acumulación de materia orgánica en el suelo está directamente relacionada con la cantidad de residuos aplicados como cobertura.

El mayor incremento en el contenido de materia orgánica se encuentra inicialmente en los primeros 15 mm de profundidad del suelo bajo labranza cero, y con el paso del tiempo el contenido de materia orgánica de los horizontes inferiores aumentará, restringiendo la erosión y el encostramiento lo que ocurre en la investigación con el tratamiento (T2).

Los residuos de cultivos dejados en la superficie del suelo conducen a una mayor agregación del suelo, a una porosidad más alta y a un número superior de macroporos y, por lo tanto, tienden a presentar tasas más altas de infiltración. De igual manera al implementar distintos cultivos de cobertura se producen diferentes cantidades de biomasa, la densidad de los residuos varía con los cultivos y, por lo tanto, la habilidad para incrementar la infiltración de agua (Monegat, 1991).

La cobertura vegetativa es esencial para la agricultura de conservación para la protección del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia, para mantener el suelo bajo sombra y con el más alto nivel de humedad posible, para utilizar y, por ende, reciclar los nutrientes y para usar sus efectos alelopáticos sobre las malezas, conduciendo así a la reducción del uso de agroquímicos y de esta manera a disminuir los costos de producción (Santos, 1987).

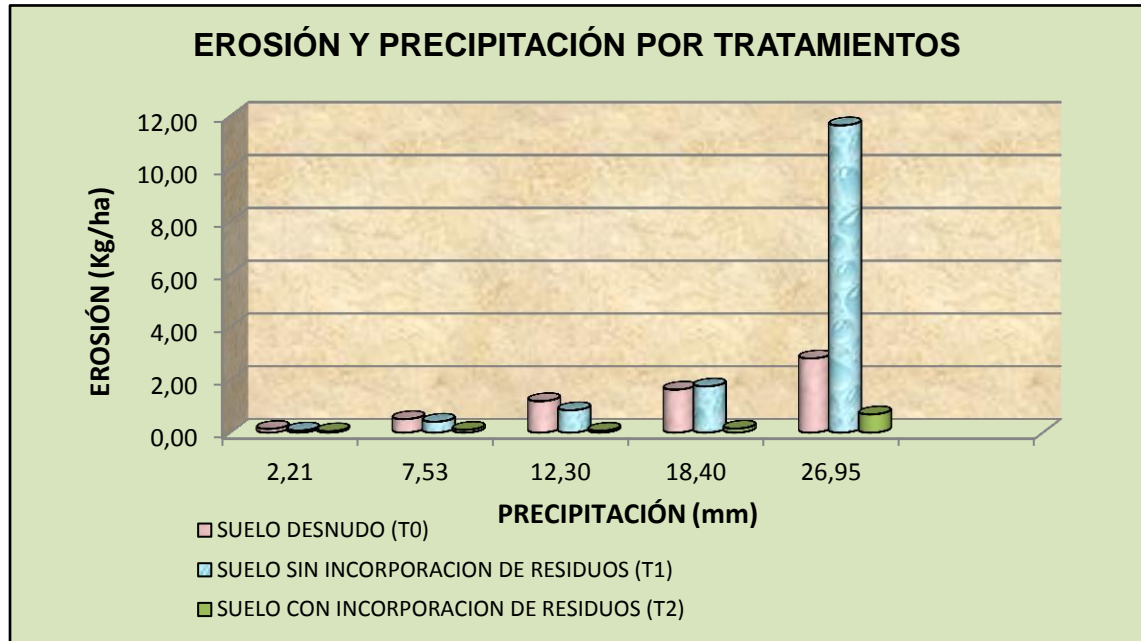
7.2 SUELO ERODADO CON RELACIÓN A ALTURA DE PRECIPITACIÓN

En el cuadro 6 y figura 10, se muestra la relación existente entre la cantidad de suelo erodado presentada en cada uno de los tratamientos y la altura de precipitación.

Cuadro 6. Suelo erodado con relación a altura de precipitación.

Rangos de precipitación (mm)	Altura de precipitación (mm)	Peso de suelo seco (kg/ha)		
		T0	T1	T2
0,1 – 5	2,21	0,14	0,08	0,05
5,1 – 10	7,53	0,51	0,41	0,10
10,1 – 15	12,30	1,19	0,85	0,07
15,1 – 15	18,40	1,63	1,75	0,15
20,1 – 34	26,95	2,81	11,64	0,69

Figura 10. Erosión con relación a la precipitación por tratamiento.



En la figura 10 se observa que la pérdida del suelo en los diferentes tratamientos presenta una relación directa con la altura de precipitación (mm), el tratamiento T2 que corresponde a las parcelas donde por muchos años se han incorporado los residuos de la caña que sirvió de tutor al cultivo de frijol y además se han hecho incorporaciones de las plantas secas una vez cosechado el cultivo de frijol, en este tratamiento es donde se presenta menores pérdidas de suelo y además con el incremento de la altura de precipitación las pérdidas son mucho menores que en los otros dos tratamientos.

Al realizar un análisis del cuadro 6 donde se relaciona la altura de precipitación con el suelo erodado podemos determinar que, cuando la altura de lluvia oscila en rangos 0,1 – 5 mm donde 1 mm de lluvia equivale a 1 litro por m², el suelo erodado en los tratamientos fue para T2 = 0,05 kg/ha; T1 = 0,08 kg/ha y T0 = 0,14 kg/ha, al incrementar la altura de precipitación se determinó en campo que el suelo erodado era mayor al compararlo con alturas de precipitación entre 20,1 -34 mm se evaluó en campo una pérdida de suelo de para T2 = 0,69 kg/ha, T0 = 2,81 kg/ha y T1 = 11,64 kg/ha, con lo cual se determinó en la investigación que a mayor altura de precipitación mayor suelo erodado, pero cuando el suelo tiene incorporado residuos vegetales como el tratamiento T2 la pérdida de suelo es menor que en un suelo desnudo y en un suelo donde no existe incorporación de residuos vegetales estos resultados permiten determinar que el manejo que muchos productores en el Valle de Sibundoy realizan en el sistema maíz relevo frijol voluble es una práctica conservacionista que disminuye la erodabilidad el suelo aun cuando la altura de precipitación es alta.

Los anteriores resultados concuerdan con los reportados por la (FAO, 2000) que afirma que la materia orgánica agregada al suelo normalmente incluye hojas, raíces, residuos de los cultivos y compuestos orgánicos correctivos, de acuerdo a la cantidad de residuos vegetales se aplican en la superficie o en la capa superior del suelo, el contenido de materia orgánica de esta capa tiende a ser más alto y a decrecer con la profundidad.

La materia orgánica ejerce una serie de acciones benéficas sobre el suelo, favoreciendo la agregación de partículas estables en superficie aumenta la resistencia del suelo frente a la erosión ya que impide el arrastre de las partículas finas por el agua de escorrentía, y el volumen de esta disminuye al incrementarse la permeabilidad edáfica. A su vez el impacto de las gotas de lluvia produce una menor liberación de partículas que pudieran ser posteriormente arrastradas (Kononova, 1982). Así pues, debido al efecto cementante de la materia orgánica sobre las partículas minerales del suelo, y su gran poder absorbente se favorece la capacidad de retención de agua en el suelo, la resistencia al encostramiento y la porosidad.

Así como también (Sierra y Rojas, 1988), establecen que la materia orgánica de origen vegetal es la fuente primaria de carbono, la más comúnmente empleada son los residuos de cosechas, que pueden ser de diferente calidad dependiendo de su estado de crecimiento y tipo de planta; la cantidad de carbono incorporado dependerá del rendimiento del cultivo, un maíz para grano de alto rendimiento puede dejar un nivel de residuos superior a las 15 t/ha de materia seca.

Además, el contenido de nutrimentos de la materia orgánica es importante para las plantas. Por medio de la actividad de la flora y la fauna presentes en el suelo esos nutrimentos son transformados en sustancias inorgánicas y pasan a estar disponibles para las plantas (FAO, 2000)

La materia orgánica es el elemento de enlace de las propiedades biológicas, químicas y físicas de un suelo, se asocia y cumple roles esenciales en numerosas funciones del mismo como el ciclo de los nutrientes, la retención de agua y el drenaje, el control de la erosión, la supresión de enfermedades y la remediación de la contaminación (Docampo, 2001).

Igualmente (Jiménez, 1993) afirma que la materia orgánica es insoluble en agua por lo que evita el lavado de los suelos y la pérdida de nutrientes, tiene una alta capacidad de absorción y retención de agua ya que absorbe varias veces su propio peso en agua y la retiene, evitando la desecación del suelo.

Así como también es indispensable tener en cuenta que la erosión hídrica es causada específicamente por la acción de la energía cinética de las gotas de lluvia al impactar en una superficie de terreno desnudo, o no debidamente protegida por la vegetación. Esta acción separa las partículas de los agregados del suelo, las

que posteriormente son arrastradas por el escurrimiento superficial de las aguas, algunas de ellas son depositadas en huecos del suelo, generando un sellamiento del manto superficial, lo que favorece el escurrimiento. Dicho escurrimiento es producido cuando la intensidad de las precipitaciones supera la capacidad de infiltración del suelo (Hernández, 2011).

7.3 PROPIEDADES FÍSICAS

A continuación, se presenta los resultados de algunas propiedades físicas (densidad aparente (Da), densidad real (Dr), porosidad, humedad gravimétrica (Hw), humedad volumétrica (Hv), color, y textura) evaluadas en los tres tratamientos, tomados a dos profundidades 0 -15 cm y 15 – 30 cm.

Estas variables se evaluaron tomando como base los resultados obtenidos en campo y laboratorio (Anexo A) a las cuales se les realizó un análisis estadístico Anova y para las variables donde existió diferencia significativa se aplicó una prueba de significancia de Tukey.

Cuadro 7. P valor de algunas variables físicas evaluadas en los tres tratamientos.

VARIABLES	P VALOR	
	Profundidad 0-15 cm	Profundidad 15 – 30
Densidad Aparente (g/cc)	0.1451	0.1451
Densidad Real (g/cc)	0.9724	0.8622
Porosidad (%)	0.1937	0.0340*
Humedad Gravimétrica (%)	0.0318*	0.3016
Humedad Volumétrica (%)	0.0237*	0.1319

*existen diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$)

En los tratamientos evaluados, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($P \geq 0,05$), para las variables Da, Dr, en las dos profundidades evaluadas porosidad a 0- 15 cm de profundidad, humedad volumétrica y densidad gravimétrica 0- 15 cm y 15- 30. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en porosidad de 15 – 30 cm de profundidad y humedad volumétrica y gravimétrica de 0 -15 cm.

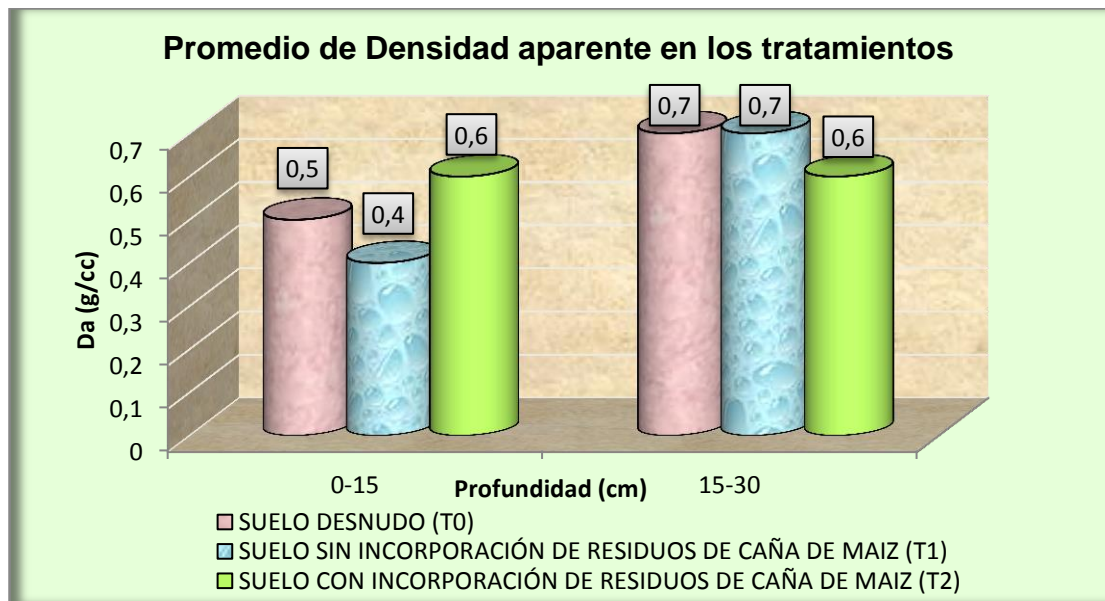
7.3.1 Densidad aparente. Es la relación existente entre el peso del suelo seco y el volumen que ocupa, incluyendo su espacio poroso, se considera de gran importancia debido a su relación con otras características del suelo como la porosidad, la retención de humedad, la permeabilidad al agua y al aire, la penetrabilidad de las raíces y la actividad microbiana. A su vez, la densidad

depende del material parental y es afectada por la estructura, la materia orgánica, la textura y el manejo del suelo (Salamanca y Sadeghian, 2004).

La determinación de la densidad aparente tiene un valor extraordinario para conocer el estado físico del suelo, ya que refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad debido a que varía por la acción de agentes externos e internos como por ejemplo la compactación y la dispersión de las partículas respectivamente (Foth, 1987).

En la figura 11 se muestra los valores de densidad aparente encontrados a profundidad de 0 -15 cm, presentándose el valor más bajo para el tratamiento T1 cuyo promedio fue = 0,4 g/cc, seguido por el tratamiento T0 = 0,5 g/cc y finalmente el tratamiento T2 = 0,6 g/cc y a profundidad 15 – 30 cm los promedios oscilaron en, T2 = 0,64 g/cc, T1 = 0,79 g/cc y T0 = 0,88 g/cc.

Figura 11. Promedio de densidad aparente en cada uno de los tratamientos.



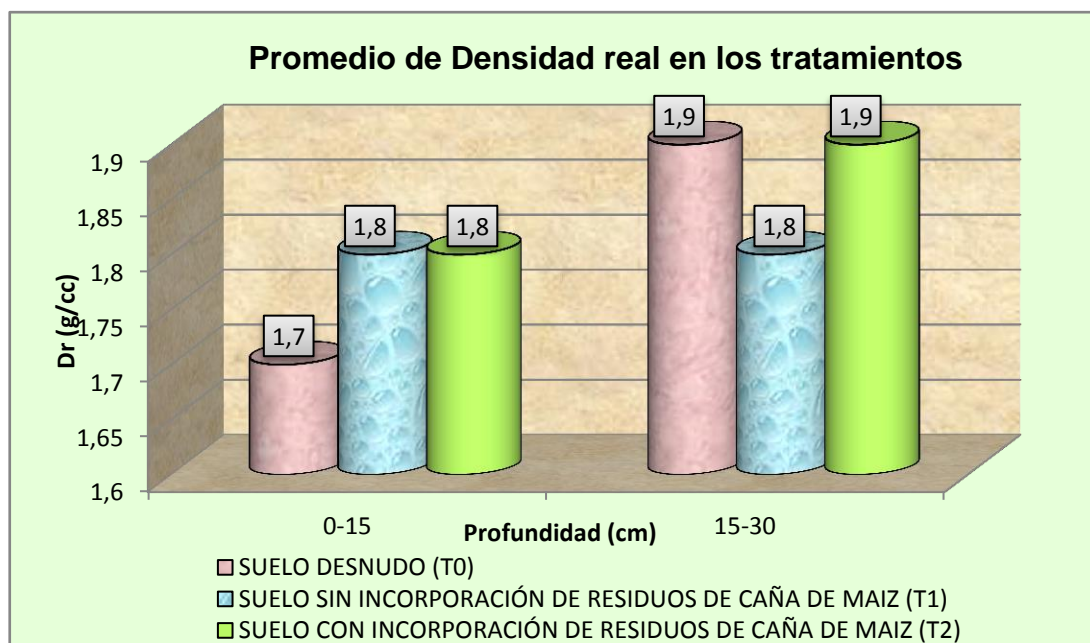
Las densidades a profundidades de 0- 15 cm fueron más bajas que las de 15 cm – 30 cm esto debido a que como lo manifiesta Viveros (1988), la densidad aparente se ve afectada por el contenido de materia orgánica, siendo este mayor en los primeros horizontes del suelo dando como resultado un suelo con buenas densidades, al respecto Cuevas *et al.*, (2006), afirma que la menor densidad aparente es el resultado de la mayor macroporosidad, ya que se generan espacios dentro de la matriz del suelo por efecto del material orgánico. Mayores cantidades de materia orgánica generan menores valores de densidad aparente y aumentos en los valores de porosidad total.

Los valores obtenidos en la investigación con respecto a la densidad aparente son un buen indicador en la calidad del suelo, al permitir mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo de las raíces, junto con una adecuada aireación del suelo, permeabilidad, porosidad, velocidad de infiltración reduciendo a su vez la susceptibilidad a la erosión; mientras que a más profundidad la densidad fue mayor esto debido a que existe un menor contenido de materia orgánica

Generalmente se considera que un valor ideal de densidad aparente en suelos es de 1,2 – 1,3 g/cc. Suelos con alto contenido de materia orgánica o carbonato de calcio tienen densidades aparentes bajas, debido a que ambos materiales son menos pesados que la fracción mineral del suelo (Casanova, 2005), como los obtenidos en la presente investigación cuyos valores oscilaron entre 0,4 g/cc y 0,7 g/cc.

7.3.2 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, es decir, sin involucrar en el volumen el espacio ocupado por los poros, 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).

Figura 12. Promedio de densidad real en cada uno de los tratamientos.



Teniendo en cuenta el análisis de varianza del cuadro 7 donde se analiza esta propiedad a las dos profundidades de evaluación, indica que en esta no se presentaron diferencias significativas ($P \geq 0,05$), Pero al tomar los valores promedios (figura 12) en los tres tratamientos se evidencio los valores más bajos de densidad

real en profundidades de 0-15 cm presentando los siguientes resultados, el promedio más bajo lo registro para T0 = 1,7 g/cc, T1=1,8 g/cc y T2= 1,8 g/cc; y los valores más altos los presento la profundidad de 15-30 cm con valores para T0 = 1,8 g/cc, T1=1,9 g/cc y T2= 1,9 g/cc.

Para fines prácticos, se asume como un valor promedio adecuado de densidad real para suelos minerales, 2.65 g/cc, este valor será apropiado para un suelo cuya composición mineralógica (Jaramillo, 2002). Los compuestos orgánicos poseen una densidad real próxima a 0,5 g/cc por tanto a medida que aumenta la materia orgánica del suelo disminuye la densidad real (Unigarro *et al*, 2009).

En un suelo cuya mineralogía esté dominada por óxidos de hierro se presentará una densidad real muy por encima del valor promedio anotado anteriormente. De otro lado, los valores por debajo del promedio pueden indicar la presencia de altos contenidos de materia orgánica, como los valores presentados en la figura 12, donde los promedios de densidad real oscilan entre 1,7 g/cc y 1,9 g/cc en las dos profundidades de evaluación, situación considerada normal entre los tres tratamientos ya que de acuerdo con lo expresado por Henríquez y Cabacelta (1999), esta propiedad presenta una baja variabilidad con relación a la densidad aparente.

En este sentido Coral *et al.*, 2003 citado por Burbano y Cadena (2009), coinciden en que la D_r varía entre 2.6 a 2.75 g/cc en todos los suelos agrícolas y cuando existen valores por debajo de los mencionados se deben a la presencia de altos contenidos de materia orgánica como es el caso de los suelos evaluados en esta investigación corroborados con los análisis químicos de suelos que se realizaron en cada uno de los tratamientos cuyos niveles de materia orgánica fueron altos mayores del 10 % para clima frío obteniéndose el mayor valor T2 con la incorporación de residuos vegetales.

En general en todos los tratamientos evaluados en la finca Eucalipto presenta unas densidades apropiadas para el manejo y producción de cultivos y se deben manejar adecuadamente para que se mantengan a través del tiempo

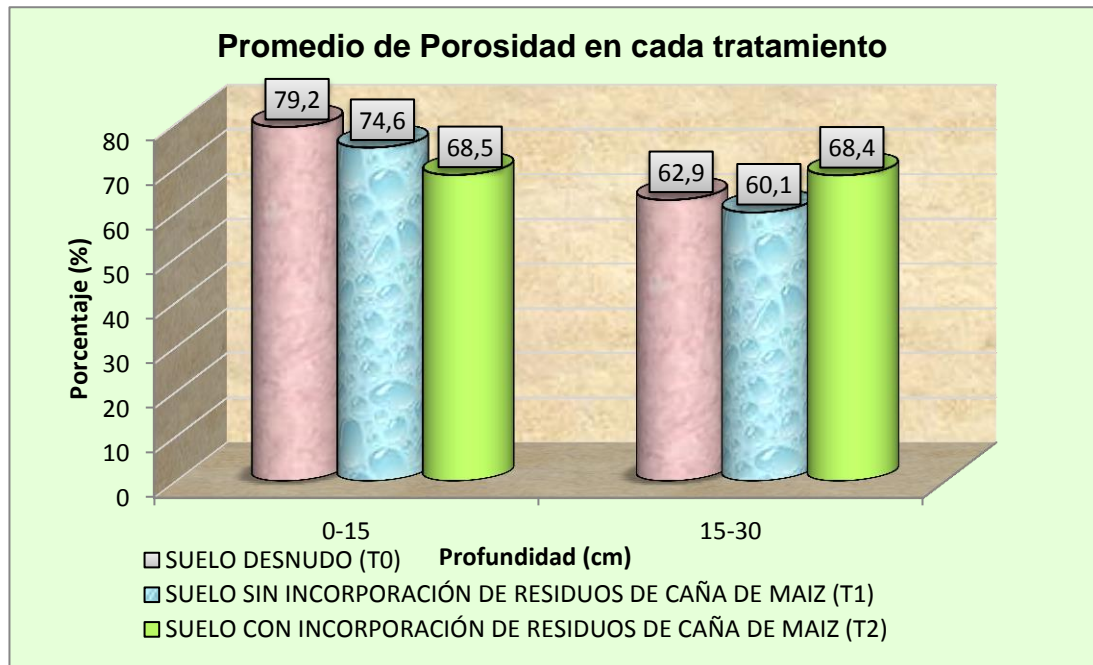
7.3.3 Porosidad. El espacio poroso de un suelo es la parte del mismo que en su estado natural está ocupado por aire y/o agua. El volumen de este espacio poroso depende mucho de la disposición de las partículas sólidas. La importancia agrícola de la porosidad del suelo es muy grande y sus características dependen de la textura, estructura, contenido de materia orgánica, tipo e intensidad de cultivos, labranza y otras propiedades del suelo y su manejo (Jaramillo, 2002).

Dentro del espacio poroso se pueden 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).

En el cuadro 7 para la variable porosidad encontramos que no existen diferencias significativas a profundidad de 0-15 cm y si existen a profundidad de 15-30 cm, como se evidencia en el cuadro 9, donde se resume la prueba de significancias de Tukey.

Figura 13. Promedio de porosidad en cada uno de los tratamientos.



En la figura 13, en cuanto a evaluación de la porosidad se evidencia que a una profundidad de 0-15cm se obtuvieron los siguientes resultados, el promedio más alto fue del tratamiento T0 suelo desnudo con un valor de 79,2%, seguidos por el suelo sin incorporación de residuos de caña de maíz (T1) y el suelo con incorporación de residuos de caña de maíz (T2), con 74,6 % y 68,5% respectivamente.

Los valores de porosidad encontrados a profundidades de 15cm-30cm fueron de 68,4% para el tratamiento T2 con incorporación de residuos de maíz, siendo este el valor más alto con relación a los datos obtenidos en el suelo desnudo T0 con 62,9% y el suelo sin incorporación de residuos de caña de maíz con 60,1%; estos valores según Kaurichev (1984), se aceptan como suelos con excelente porosidad al encontrarse en rangos entre 55 -70 % como se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 8. Clasificación de la porosidad total del suelo.

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

Cuadro 9. Prueba de Tukey para porosidad a profundidad de 15 – 30 cm.

Agrupación de Tukey		Media	N	Tratamiento
	A	68.443	3	2
B	A	62.953	3	0
B		60.063	3	1

En el cuadro 9 muestra que la porosidad a profundidad de 15 – 30 cm presenta diferencias altamente significativas entre el tratamiento T1 con un promedio de 60,06 % con relación al tratamiento T0= 62,95 % y T2= 68,44%, esto debido a que el suelo del T1 el cual no presenta incorporación de materia orgánica la porosidad es menor que el T2 debido a que la materia orgánica favorece como se ha expresado anteriormente un aumento en esta propiedad permitiendo la infiltración del agua, mayor mineralización de la materia orgánica, disminuyendo la erosión del suelo, resultados que se han obtenido en esta investigación.

La porosidad total se relaciona directamente con la retención y movimiento del agua en el perfil del suelo. Es una propiedad física esencial ya que la reacción y transporte de oxígeno al sistema radicular de las plantas garantiza la facilidad con que las raíces pueden anclar y sostenerse en el suelo y permitir así la rápida absorción de los nutrientes del suelo (Tapia y Rivera, 2010; Mila, 2001; Soriano y Pons, 2004); pero también esta variable es la más modificable con el manejo antrópico (Pecchiari *et al.*, 1990; citado por Denoia, 2000).

Este último enunciado lo confirma (Kießling *et al.*, 2006; citado por Deonia, 2000), postula que, de todas las propiedades del suelo, la porosidad es tal vez la más fácil y frecuentemente alterada por las operaciones de labranza o manejo sin laboreo, en este sentido importa la cantidad total de poros, así como la forma, tamaño, continuidad y distribución de los diferentes tamaños índice sobre la velocidad con que se infiltra el agua y sobre la cantidad de agua que puede mantener disponible para los cultivos. Además, afirma que, algunos estudios

recientes indican que, en efectos de corto plazo, el pisoteo animal tiende a ser el que mayores implicancias tiene sobre las capas más superficiales del suelo, disminuyendo la cantidad de poros, que son los encargados de conducir el agua de lluvia hacia las capas más profundas del suelo, alterando así la distribución del espacio poroso.

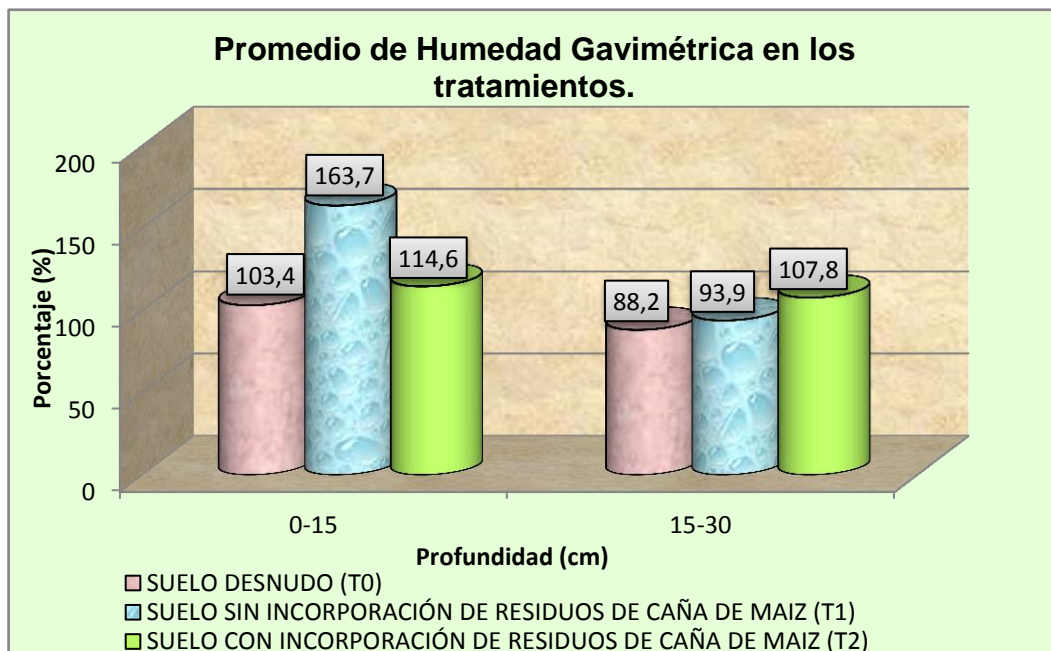
7.3.4 Humedad gravimétrica. La cantidad de agua que posee el suelo es una de sus características más específicas y está determinada, fundamentalmente, por su textura, su contenido de materia orgánica, la composición de sus fracciones mineral y orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico,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

Al evaluar esta característica se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos a la profundidad de 0-15 cm ($P < 0,05$) como se observa en el cuadro 7 y como se evidencia en la prueba de Tukey del cuadro 10 y en la figura 14.

Cuadro 10. Prueba de Tukey para humedad gravimétrica.

Agrupación de Tukey		Media	N	Tratamiento
	A	163,73	3	1
B	A	114,60	3	2
B		103,43	3	0

Figura 14. Promedio de humedad gravimétrica en los tratamientos.



De acuerdo a lo presentado en el cuadro 10 y figura 14 se evidencia la existencia de diferencias significativas entre T0 con un valor de 103,43% con relación a los tratamientos T2 = 114,60 % y T1= 163,73%, lo cual según Noguera y Vélez (2010), se presenta debido a la existencia de materia orgánica que favorece la formación de una estructura estable de agregados en el suelo, lo cual incrementa la capacidad de retención de agua ya que puede absorber de tres a cinco veces más de su propio peso, reduciendo la pérdida de humedad por evaporación e incrementando la humedad disponible.

Sharma (1991) citado por FAO (2000), corrobora lo planteado anteriormente, al evaluar los efectos de la cobertura orgánica y el tipo de labranza sobre la cantidad de humedad en un suelo de 120 cm de profundidad en Faizabad India, demostrando que la mayor infiltración y menor pérdida de humedad por evaporación resulta en mayor humedad disponible para el cultivo al quedar almacenada en el suelo, de igual manera esto contribuye a que exista un control en la temperatura, creando mejores condiciones para la germinación de las semillas, la actividad biológica, los procesos microbiológicos y el crecimiento inicial de las plantas.

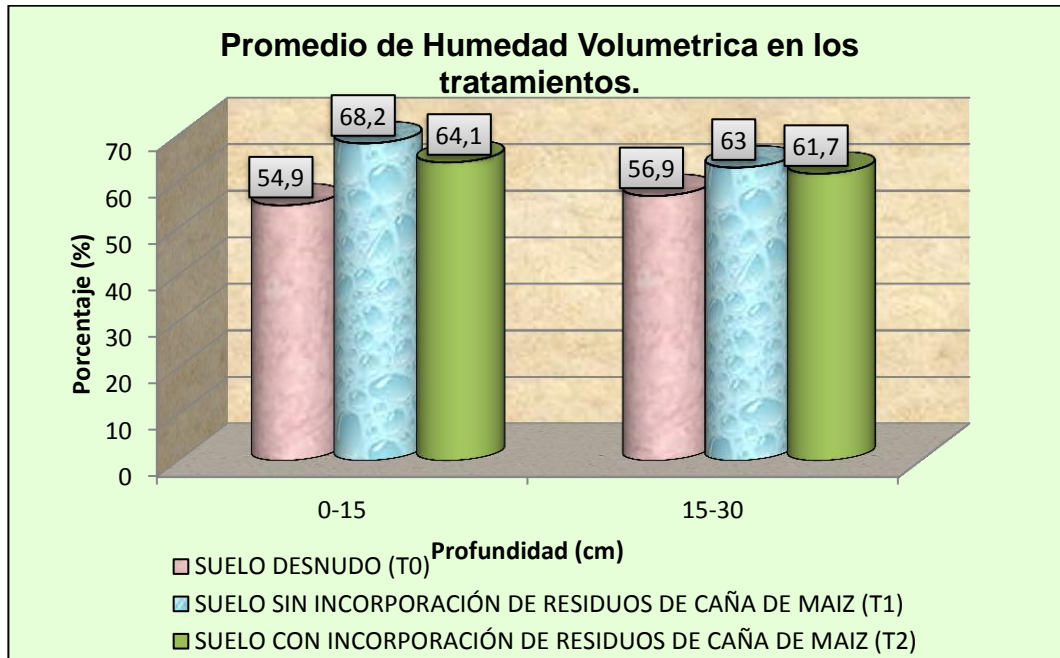
Mientras que en el tratamiento T0 suelo desnudo, al estar sin ningún tipo de cobertura existió una mayor evaporación por la acción directa del sol, disminuyendo de esta manera la cantidad de humedad en el suelo.

7.3.5 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).

Cuadro 11. Prueba de Tukey para humedad volumétrica.

Agrupación de Tukey		Media	N	Tratamiento
	A	68.267	3	1
B	A	64.033	3	2
B		54.900	3	0

Figura 15. Promedio de humedad volumétrica en los tratamientos.



Al llevar a cabo la evaluación de esta característica se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos a la profundidad de 0-15 cm ($P < 0,05$) como se observa en el cuadro 7 como se evidencia en la prueba de Tukey cuadro 11 y figura 15 donde el T0 con un valor de 54,90 % difiere estadísticamente de los tratamientos T2=64,03% y T1= 68,26%, esto debido a que el T0 es un suelo desnudo con altos niveles de erosión cuyo almacenamiento de agua es más bajo. Estos valores se presentan debido a la interacción de factores de suelo como la densidad aparente, porosidad, humedad gravimétrica y el contenido de materia orgánica, Burbano *et al.*, 2005) determinando finalmente el efecto positivo que tiene la incorporación de residuos vegetales en toda la dinámica física de los suelos evaluados.

7.3.6 Color. El color del suelo es una propiedad física relacionada con la longitud de onda del espectro visible que el suelo refleja al recibir los rayos de luz. El tono y la intensidad de los colores del suelo superficial y de sus horizontes permiten hacer inferencias sobre sus características y procesos pedogenéticos. De igual manera se encuentra determinado por la cantidad y estado de los minerales de hierro y/o manganeso, así como de la materia orgánica, además de la existencia de procesos de oxidación o reducción (Flores y Alcalá, 2010).

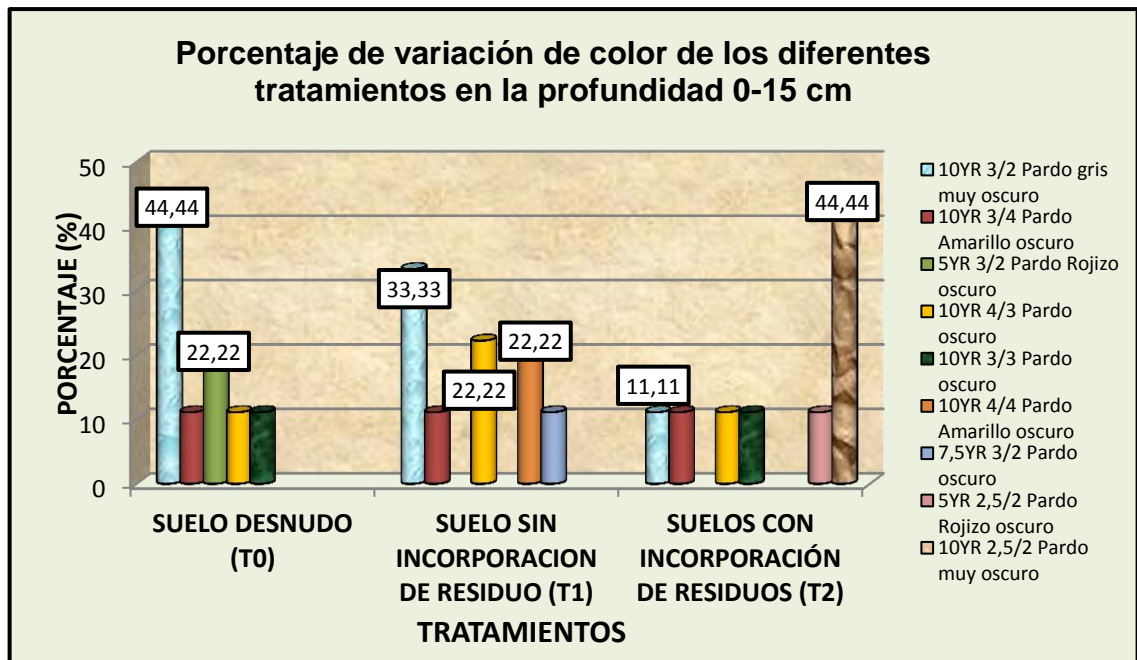
El color del suelo afecta, indirectamente, la temperatura y la humedad, a través de su efecto sobre la energía radiante. Un suelo de color oscuro, bajo la misma cantidad de energía radiante, se secará más rápidamente que uno de color claro,

debido a que el suelo oscuro absorberá mayor cantidad de energía radiante y, por tanto, tendrá mayor cantidad de energía calorífica disponible para un mayor grado de evaporación. Una cubierta vegetal o de residuos de cultivo, reducirá estos efectos (Flores y Alcalá, 2010).

Para la determinación del color del suelo de cada uno de los tratamientos evaluados, se utilizó la “carta de colores” basada en el libro y/o tabla Munsell de colores, donde se evaluó el matiz, valor y croma del color con su respectivo código siendo este la notación Munsell para el color.

El análisis se llevó a cabo en el laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo, con muestras de suelo húmedo recolectadas en campo de cada uno de los tratamientos evaluados a dos profundidades de evaluación de 0-15 cm y 15-30 cm, cuyos resultados se muestran a continuación anexo C (Figura 16).

Figura 16. Porcentaje de variación de color en la profundidad 0-15 cm.



De acuerdo a los datos reflejados en la figura 16 en cuanto a variación de color a una profundidad de 0-15 cm en cada uno de los tratamientos, se presenta para el suelo desnudo (T0) 5 tonalidades, siendo el más representativo 10YR 3/2 correspondientes a pardo gris muy oscuro, con un 44,4%.

Por su parte en el suelo sin incorporación de residuos de cosecha (T1) continúa predominando el 10YR 3/2 correspondientes a pardo gris muy oscuro, con un 33,3%, seguido de 10YR 4/3 (Pardo oscuro) y 10YR 4/4 (Pardo amarillo oscuro), ambos con un 22,2%.

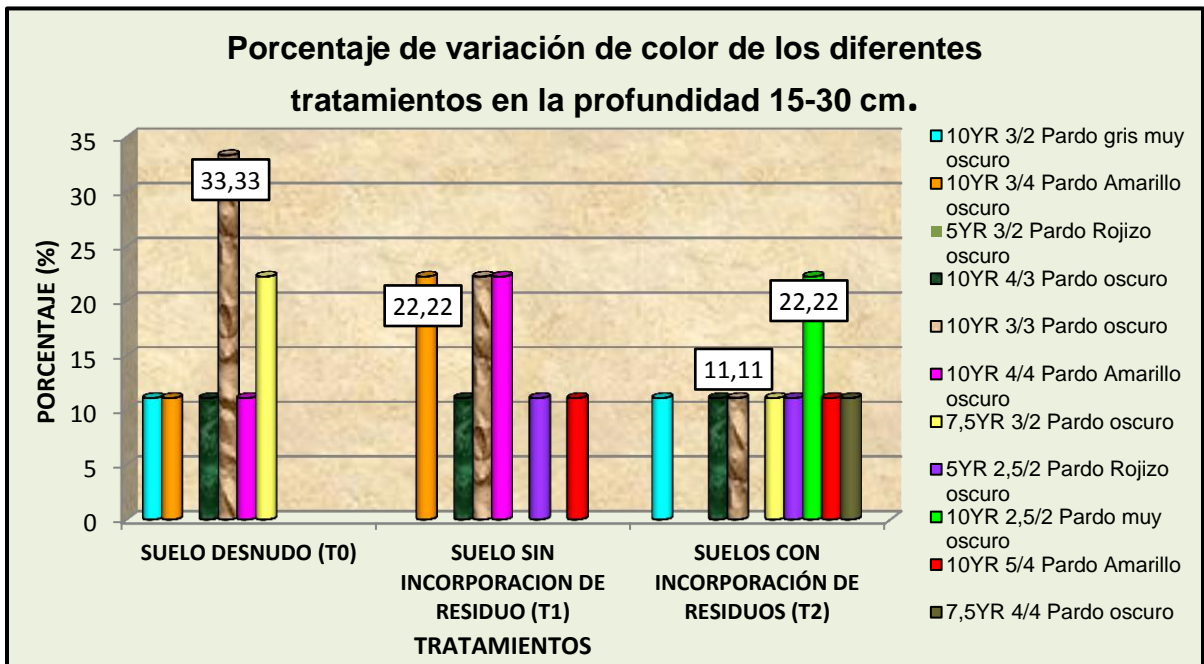
Mientras que en el suelo con incorporación de residuos de cosecha (T2), se presentan 6 tonalidades siendo el color más característico de este tratamiento el 10YR 2,5/2 pardo muy oscuro, con un 44,4%.

El análisis de color permite determinar que en un alto porcentaje los suelos evaluados presentan colores pardos esto debido a que el sistema de producción siempre ha existido la incorporación de residuos de cosecha a través el tiempo, teniendo en cuenta que la finca se encuentra en una misma unidad de muestreo la colorimetría de los suelos presenta características muy similares (autor que diga de colores pardos del suelo)

Esa coloración uniforme y oscura que se da en los tres tratamientos especialmente en el T2 lo explica Burbano (1989), quien afirma que el típico color oscuro de muchos suelos se debe a los contenidos de materia orgánica, influenciada su intensidad por el contenido de humedad, situación que según Gliessman (2002) los colores oscuros son una indicación de altos contenidos de materia orgánica.

Además, ante un dominio de pigmentaciones pardas, color característico que según Valenzuela y Torrente (2013), se denota la presencia de óxidos de hierro en adición a la materia orgánica, que está asociado a estados iniciales a intermedios de alteración del suelo.

Figura 17. Porcentaje de variación de color en la profundidad 15 -30 cm.



En la figura 17 se muestran los resultados de color en la profundidad de 15-30 cm, encontrándose en el suelo desnudo (T0) 6 tonalidades, de las cuales la más representativa corresponde a 10YR 3/3 (Pardo oscuro) con 33,3%, seguido de 7,5YR Pardo oscuro con 22,2%.

Para el suelo sin incorporación de residuos de cosecha (T1) se encontraron 6 tonalidades diferentes entre las que se destacan con un valor de 22,2%, 10YR 3/4 (Pardo Amarillo oscuro), 10YR 3/3 (Pardo oscuro) y 10YR4/4 (Pardo Amarillo oscuro).

Mientras que en el suelo con incorporación de residuos de cosecha (T2) se encontraron 8 tonalidades predominando el 10YR 2,5/2 (Pardo muy oscuro) con un valor de 22,2%.

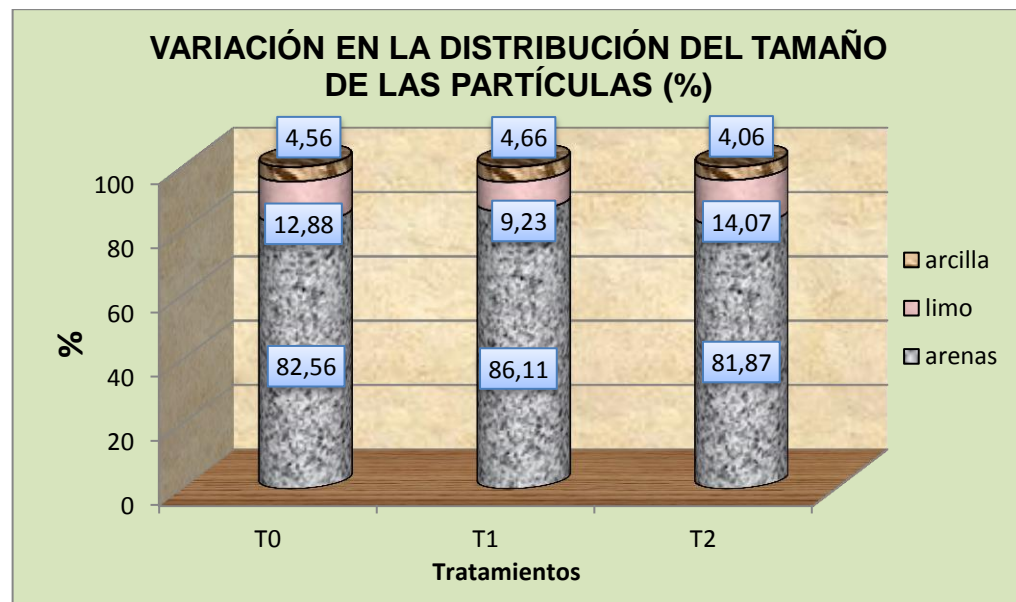
La tendencia de colores a profundidades de 15 -30 cm continúa siendo la misma dominando los colores pardos, pero con una tonalidad más oscura en el T2 con 10 YR 2,5/2 (pardo muy oscuro) con un valor de 22,2 % debido a la aplicación de residuos incorporados corroborando lo anteriormente explicado.

Además (Gros y Domínguez, 1992) establecen que la materia orgánica cumple un papel esencial en el suelo, y que esta es una sustancia orgánica variada de color pardo y negruzco, que resultan de la descomposición de materias orgánicas de origen exclusivamente vegetal.

7.3.7 Textura. Se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (FAO, 2000).

La textura obtenida mediante la prueba de Bouyoucos realizada en el laboratorio de la universidad de Nariño en los tres tratamientos fue franco arenosa determinando como se observa en la fig 17 con altos contenidos de arena presentes en los tratamientos evaluados

Figura. 18. Variación en la distribución del tamaño de las partículas (%) en los tres tratamientos evaluados.



La textura franco arenoso, suelos que se caracterizan por tener buenas condiciones de labranza, infiltración y permeabilidad, pobre capacidad de retención de humedad y de fertilidad potencial; finalmente la resistencia a la erodabilidad presentan un nivel bajo (Thompson, 2002).

La variación textural se debe a la composición natural de los suelos, no al uso de ellos, de acuerdo con Montenegro (2003), la presencia de fracciones gruesas se traduce en el suelo en la facilidad de infiltración, peligro de lavado de elementos nutritivos, aireación media a alta, intercambio gaseoso rápido y retención de humedad baja; consideraciones validas solo cuando el suelo presenta contenidos bajos de materia orgánica, de tal forma que los resultados de la investigación nos llevan a determinar que por existir altos contenidos de materia orgánica como los muestra los análisis químicos de laboratorio estas propiedades se mejoran y existe un mayor beneficio en el T2.

7.4 Química de suelos. Un suelo, tras haber pasado por otras etapas de formación puede entrar en un proceso de erosión, de forma que se observan las características de procesos de desarrollo antiguos. La erosión de los suelos disminuye su fertilidad natural ya que elimina en una primera etapa las partículas más finas, arcillas y materia orgánica, así como elementos nutritivos (Garrido, 1993).

A partir del reporte de análisis de suelos agrícolas realizado por la Universidad de Nariño en la finca Eucalipto propiedad del señor Edgar Oviedo ubicada en el barrio

Fátima, en el municipio de Sibundoy Putumayo, zona de clima frío, con una fecha de reporte de muestra, 03 de mayo de 2016 se registran los siguientes datos (cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis químico de suelos.

PARÁMETROS QUÍMICOS ENSAYOS	IDENTIFICACIÓN DEL LOTE		
	SIN RESIDUOS DE COSECHA (T1)	CON RESIDUOS DE COSECHA (T2)	SUELO DESNUDO (T0)
pH, Potenciómetro Relación Suelo: (1:1) Agua	5,48	5,40	5,38
Materia Orgánica	13,2	18,4	17,7
Fósforo disponible	5,9	15,5	37,3
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC)	41,4	54,8	43,6
Calcio de Cambio	1,03	4,65	5,33
Magnesio de Cambio	0,5	0,44	0,66
Potasio de Cambio	0,4	0,47	0,41
Aluminio de Cambio	0,37	0,54	0,56
Hierro disponible	113	75,7	83,3
Manganeso disponible	6,58	1,16	1,73
Cobre disponible	0,30	0,34	0,59
Zinc disponible	0,17	0,61	1,42
Boro disponible	0,02	0,19	0,28
Nitrógeno Total	0,47	0,60	0,59
Azufre disponible	3,03	8,53	9,29
Carbono Orgánico	7,65	10,70	10,3
F=Franco - Ar=Arcilloso A=Arenoso - L=Limoso	Franco	Orgánico	Orgánico
Densidad Aparente	0,53	0,54	0,59

Para llevar a cabo la interpretación de análisis de suelos con fines agrícolas se utiliza la tabla dada a conocer por Castro y Gómez (2010), en la cual se presenta los estándares generales (Cuadro 13).

Cuadro 13. Estimativos de pH para análisis de suelos con fines agrícolas.

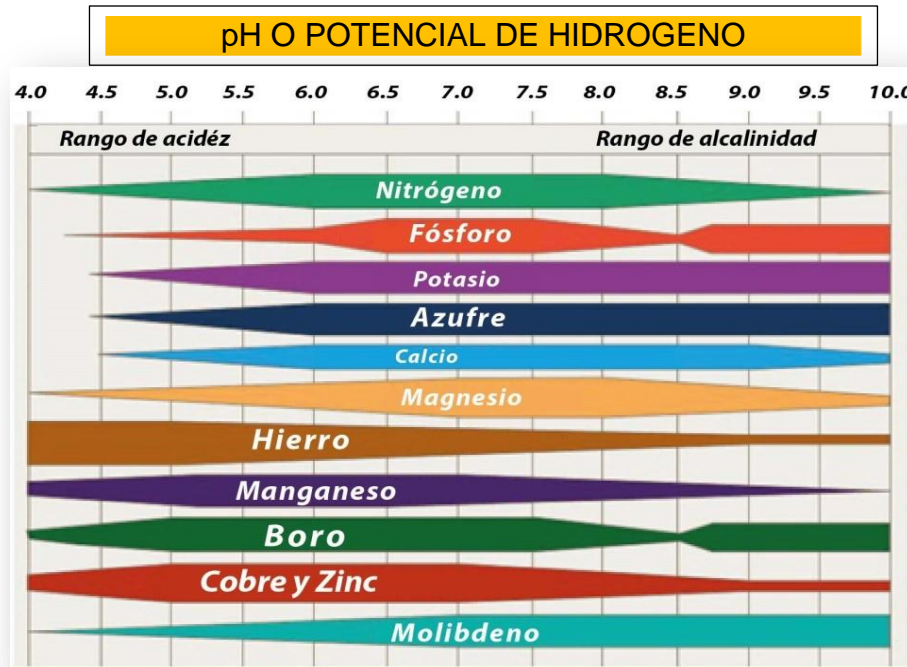
ESTIMATIVO DE pH	VALOR
Extremadamente ácido	< 4,5
Muy fuertemente ácido	4,5-5,0
Fuertemente ácido	5,1-5,5
Moderadamente ácido	5,6-6,0
Ligeramente ácido	6,1-6,5
Neutro	6,6-7,3
Alcalino calcáreo	7,4-7,9
Moderadamente alcalino	>7,9-8,4
Fuertemente alcalino	>8,4-9,0

Según Marín (1986), el pH presente en el suelo hace referencia al grado de acidez o basicidad del mismo y generalmente se expresa por medio de un valor de pH del sistema suelo-agua. El pH es la medida de la concentración de iones de hidrógeno [H⁺]; según este valor, un suelo puede ser ácido, neutro o alcalino.

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo están influenciadas por la acidez o basicidad del medio, que a su vez condicionan el uso agronómico del suelo. Así, la mayoría de las plantas prefieren rangos de pH de 5,5 a 7,5, pero algunas especies prefieren suelos ácidos o alcalinos. Sin embargo, cada planta necesita un rango específico de pH para poder expresar mejor su potencialidad de crecimiento. Del pH también dependen los procesos de humificación y en función del pH se producen distintos tipos de materia orgánica del suelo y propiedades que influyen directamente sobre el crecimiento vegetal como el movimiento y disponibilidad de los nutrientes o los procesos de intercambio catiónico (Marín, 1986).

De acuerdo a los análisis realizados a los suelos de cada uno de los tratamientos (cuadro 13), para pH se obtuvieron los siguientes resultados; suelo sin incorporación de residuos de cosecha (T1) se obtuvo un valor de 5,48; suelo con incorporación de residuos de cosecha (T2) se determinó un valor de 5,40 y para el testigo (T0) el valor fue de 5,38, por lo cual teniendo en cuenta la tabla de estándares generales para interpretar análisis de suelos, estos se encuentran en un rango de 5,1-5,5, lo cual corresponde a una apreciación de suelos fuertemente ácidos, por lo tanto, en presencia de este grado de acidez el Aluminio se solubiliza enormemente alcanzando niveles tóxicos al igual que el Manganeseo, por otra parte se pueden presentar deficiencias de calcio, magnesio, fósforo y molibdeno (figura 18).

Figura 19. Disponibilidad de nutrientes de acuerdo al pH.



Fuente: Ramos. 2014.

En pH ácidos como el registrado en este análisis existe deficiencia de elementos como el Nitrógeno, Fosforo, Potasio y Azufre ya que estos se hallan disponibles en un rango de pH cercano a la neutralidad, de igual manera al aumentar la acidez del suelo, la flora bacteriana se ve desplazada por el predominio de hongos, con lo que la nitrificación y otros procesos dependientes de la actividad bacteriana se verán afectados. Por tanto, en condiciones de fuerte acidez, la fijación del nitrógeno y la mineralización de residuos vegetales se reducen. Las plantas absorben los nutrientes disueltos en el agua del suelo y la solubilidad de los nutrientes depende en gran medida del valor de pH (Botero, 1978).

Comúnmente, los valores de pH entre 6.0 y 7.5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Es por ello que sería conveniente, en general, elevarlo hasta un valor cercano a 6/6,5 mediante el aporte de una enmienda caliza, para precipitar el aluminio (Al) y subir el pH teniendo en cuenta que se debe dejar incubar para lo cual el suelo debe estar húmedo y así de esta manera contribuir a que los elementos nutritivos puedan estar más fácilmente disponibles para las plantas (Thompson, 1993).

Para interpretar el contenido de materia orgánica de acuerdo a los estándares generales, se presentan los siguientes estimativos (Cuadro 14).

Cuadro 14. Estimativos relacionados con el contenido de materia orgánica.

APRECIACIÓN	M.O (%)		
	Clima frío (C.F)	Clima medio (C.M)	Clima cálido (C.C)
Bajo	< 5	< 3	< 1,5
Medio	5-10	3-5	1,5-3
Alto	> 10	> 5	> 3

Fuente: Castro y Gómez (2010)

La materia orgánica del suelo puede considerarse como la fracción orgánica y el principal componente sólido que posee este recurso natural, ya que de alguna manera se relaciona con casi todas las propiedades del mismo (Orozco, 1984).

El contenido de materia orgánica según el análisis de laboratorio para el tratamiento uno (T1) fue de 13,2 %; para el tratamiento dos (T2), 18,4 % y el tratamiento tres (T3) obtuvo un valor de 17,7 %, lo que de acuerdo al cuadro 3 y al estimativo para clima frío para los tres tratamientos corresponde a una apreciación de alto al estar en el rango > 10. Pero al hacer una comparación entre los tres tratamientos el que mayor porcentaje de materia orgánica contiene es el T2.

La fuente original de materia orgánica en los suelos de cultivo proviene de la incorporación de restos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, así como de la biomasa microbiana. Estos restos tan dispares se suelen denominar materia orgánica fresca y, bajo la acción de factores edáficos, climáticos y biológicos se encuentran sometidos a un constante proceso de transformación. Hay que destacar pues, la naturaleza dinámica de la materia orgánica del suelo, ya que no es un componente fijo y homogéneo, sino que va transformándose y evolucionando sin cesar (Herrero, 2003).

De igual manera mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, los suaviza; permite una aireación adecuada; aumenta la porosidad, la infiltración de agua, y eleva la capacidad de amortiguación o poder buffer, entre otros; se considera una importante fuente de nutrientes, a través de los procesos de descomposición con la participación de bacterias y hongos, especialmente (Jiménez, 1993).

Cuadro 15. Estimativos para fósforo (P), Calcio (Ca), magnesio (Mg) y Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

APRECIACIÓN	ELEMENTOS						CIC cmol/kg
	P (ppm)		Ca		Mg		
	Bray II	Oslén	Cmol/kg	% sal	Cmol/kg	% sal	
Muy bajo	<10	<8	<2	<50	<0,5	<15	< 5
Bajo	10- 20	8-16	2-3	50- 70	0,5-1,2	5-25	5-10
Medio	>20- 40	>16- 35	>3-6	8- 16	>1,2- 1,8	>25	> 10-20
Alto	>40	>35	>6	>70	>1,8		> 20

Fuente: Castro y Gómez (2010)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), para el suelo de cada uno de los tratamientos evaluados refleja unos valores de: para T1, 41,4 cmol/kg; para T2, 54,8 cmol/kg y para T0 43,6cmol/kg, los cuales corresponden a un estimativo de alto ya que se encuentran en un rango mayor a 20 cmol/kg (cuadro 15), aunque es importante establecer que el suelo del tratamiento 2 es el que presenta mayor capacidad de intercambio catiónico lo que quiere decir que existen 55 cargas negativas para ser cambiadas por cationes o bases intercambiables como Ca (calcio), K (potasio), Na (sodio), Mg (magnesio), Al (aluminio) y Fe (hierro),

Es importante destacar que la CIC se considera como una de las más importantes propiedades químicas de los suelos al estar estrechamente relacionada con la fertilidad del mismo, debido a que permite la absorción de cationes fácilmente intercambiables por la acción de grandes cantidades de arcillas (coloides inorgánicos) y materia orgánica (coloides orgánicos) (Salamanca, 1984).

Debido a lo anterior se establece que el suelo contiene una carga negativa. Esta propiedad es la que define la cantidad de sitios disponibles para almacenar los cationes en el suelo. Los cationes que son sometidos a esta retención quedan protegidos contra los procesos que tratan de evacuarlos del suelo, como la lixiviación, evitando así que se pierdan nutrientes para las plantas. Además, como la retención se hace superficialmente obedeciendo a diferencias de carga electrostática, los cationes adsorbidos pueden ser intercambiados por otros de la

solución del suelo, convirtiéndose en cationes intercambiables, necesarios en los procesos de nutrición de la planta (Baver y Gardner 1991).

De igual manera al relacionar los valores de contenido de materia orgánica y la CIC se estima que a $>$ materia orgánica $>$ CIC $>$ fertilidad del suelo, esto entre otros aspectos, se debe a la acción de la biota que interactúa en el sistema agua-aire-suelo haciendo posible el proceso de mineralización donde los componentes orgánicos se transforman en inorgánicos o en su defecto se presenta la humificación, además la materia orgánica es el alimento para la biota la cual al desarrollarse en dicho sistema permiten la aireación del suelo, mejoran la bioestructura del mismo y por lo tanto contribuye a que se presente de manera adecuada la infiltración, así como también disminución en los procesos de compactación y erosión.

Teniendo en cuenta la cantidad de fósforo disponible para cada uno de los suelos de los tratamientos evaluados se obtuvo, para T1 5,90 mg/kg lo que quiere decir según el cuadro 15 de estimativos en relación a análisis de suelos con fines agrícolas, este se encuentra en el rango <10 (Bray II), para lo cual se obtiene una apreciación de muy bajo, para T2 el fósforo que contiene es de 15,5 el cual es bajo y para T0 se obtuvo 37,3 el cual se encuentra en un rango de $>20-40$ (Bray II) estableciendo que el fósforo para este suelo es medio.

El fósforo es un elemento fundamental para la nutrición de las plantas. Es absorbido por éstas en forma de fosfatos mono y diácidos, el fósforo es un elemento poco móvil. Por su tendencia a reaccionar dando formas fosforadas no disponibles para las plantas es que debe ser considerado uno de los elementos más críticos. Es un elemento que da calidad y precocidad a las plantas, ya que adelanta la maduración (Gavande, 1998).

Según Duarte (2003), el fósforo es imprescindible en los procesos reproductivos y metabólicos de las plantas, animales y microorganismos, además una concentración adecuada es crucial en la producción agrícola, la deficiencia de este elemento es uno de los factores que limita el desarrollo de los cultivos.

Debido a que en la mayoría de los suelos el fósforo se encuentra retenido, es decir las fases mineral y orgánica “atrapa” el fósforo y no lo deja pasar a la solución del suelo donde las plantas lo podrían absorber, el uso de materia orgánica, presumiblemente debido a la quelatación de cationes polivalentes de los ácidos orgánicos y otros productos de la descomposición así como la acción de microorganismos son factores de mejoramiento de la disposición de fósforo, en diferentes tipos de suelos, encontrándose que la disposición misma de la materia orgánica libera ácidos orgánicos que a su vez disuelven fosfatos cálcicos y roca fosfórica (Duarte, 2003).

Las plantas absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en

forma de HPO_4^{-2} (ion fosfato monoácido) y $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ (ión fosfato diácido). Los efectos de su carencia se observan en las hojas viejas que presentan un color verde pálido, con los bordes secos y un color entre violeta y castaño. La floración es baja y las raíces presentan poco desarrollo (Mejía, 1996).

El calcio (Ca) y magnesio (Mg) se encuentran disponibles como cationes de intercambio y la cantidad disponible tiene una relación directa con la meteorización de los minerales y el grado de lixiviación (Guevara, 2002).

Debido a esto y teniendo en cuenta el análisis realizado a los tres tratamientos evaluados se identificaron los siguientes valores, para T1 el calcio fue de 1,03 cmol/kg y magnesio de 0,51 cmol/kg donde se evidencia que el valor de calcio se encuentra en una apreciación muy baja, mientras que para el magnesio este obtuvo una baja estimación

$\text{Ca/Mg} = 1,03 / 0,51 = 2,01$, cuya relación es ideal.

Para T2 se obtuvo calcio = 4,65 cmol/kg que de acuerdo a los estándares generales de interpretación de suelos se encuentran en un rango medio y para magnesio = 0,44 cmol/kg en una escala muy baja, la relación que se obtiene es $\text{Ca/Mg} = 10,56$ cmol/kg para lo cual se establece que el Mg es deficiente porque la relación es mayor a 10

Y para T0 los datos obtenidos fueron 5,33 cmol/kg de calcio que dentro de los estándares se establece como una apreciación media, y 0,66 cmol/kg de magnesio el cual bajo, y la relación obtenida es $\text{Ca/Mg} = 8,07$

Partiendo de que esta relación se debe tener en cuenta, especialmente en suelos ácidos, y que para nuestro caso corresponde a un pH de fuertemente ácido donde es recomendable efectuar encalamiento. Se determina según el estimativo sugerido por Castro y Gómez (2010), una relación ideal cuando los valores oscilan entre 3 a 5.

Es por ello que según Guerrero (1980), los niveles satisfactorios de la fertilidad de un suelo en las regiones húmedas depende del uso de enmiendas para balancear las pérdidas de Ca y Mg. Las enmiendas no sólo mantienen los niveles de Ca y Mg sino que también proveen de una estabilidad física y química en el suelo, y además, en términos generales el Ca y Mg se encuentran disponibles como cationes de intercambio y la cantidad disponible tiene una relación directa con la meteorización de los minerales y el grado de lixiviación.

Teniendo en cuenta el análisis del laboratorio, se presenta la interpretación de los resultados (ICA, Fertilización en diversos cultivos, Quinta aproximación) donde se evidencian los estándares generales para interpretar el análisis de suelos, donde se identifican los estimativos de las bases intercambiables, el porcentaje (%9 de

materia orgánica según el clima, la conductividad eléctrica, así mismo el fósforo y elementos menores como P, Fe, Mn, Cu, Zn, B y el S (Cuadro 12).

Cuadro 16. Estimativo de fósforo y elementos menores

Fósforo y elementos menores	Unidades: mg/kg		
	BAJO	MEDIO	ALTO
P	< de 20	20 – 40	>de 40
Fe	< de 25	25 – 50	>de 50
Mn	< de 5	5 – 10	>de 10
Cu	< de 2	2 – 3	>de 3
Zn	< de 1,5	1,5 – 3	>de 3
B	< de 0,2	0,2 – 0,4	>de 0,4
S	< de 10	10 – 20	>de 20

Fuente: Universidad de Nariño. Análisis de suelos, 2016.

Cuadro 17. Estimativo de Bases intercambiables

Bases intercambiables	Unidades: cmol+/kg		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Ca	< de 3	3 – 6	>de 6
Mg	< de 1,5	1,5 – 2,5	>de 2,5
K	< de 0,2	0,2 – 0,4	>de 0,40

Fuente: Universidad de Nariño. Análisis de suelos, 2016.

Potasio de Cambio

Se encuentra en el suelo en forma de catión intercambiable, es decir, adsorbido a las arcillas y a la materia orgánica en sus sedes de intercambio, pasando fácilmente a la solución del suelo por la acción de ácidos débiles (Garrido, 1993).

Después del nitrógeno y el fósforo, el potasio es el elemento absorbido en mayores cantidades por las plantas. Las funciones que desempeña en éstas no están bien definidas, ya que no se ha encontrado formando parte de compuestos estructurales, pero se sabe que desempeña papel importante en el metabolismo de carbohidratos y proteínas, regula la transpiración y el contenido de agua de las células, es cofactor enzimático e interviene en la fotosíntesis (Roldán *et al.*, 2004).

De acuerdo al análisis realizado los datos muestran que las concentraciones de potasio de cambio que es un macronutriente importante para el crecimiento de las plantas varía dentro de un pequeño rango, el tratamiento T1 presento un valor de 0,36 cmol+/kg, lo cual de acuerdo al cuadro 16 de estimativo de bases intercambiables este se encuentra en un rango medio, mientras que para el tratamiento T2 y T0 estos se encuentran en un rango alto con unos valores de 0,47 cmol+/kg y 0,41 cmol+/kg respectivamente. Siendo su función principal acentuar el vigor; aporta resistencia a las enfermedades de la planta, fuerza al tallo y calidad a la semilla; cuando hay bajo aporte de este macronutriente se presenta oscurecimiento del margen de los bordes de las hojas inferiores y tallos débiles. (Torres, 2016).

Aluminio de Cambio

Se refiere al aluminio que se encuentra en forma intercambiable en los suelos y que es extraído por sales neutras. En suelos minerales constituye casi completamente la fracción de acidez intercambiable de los mismos. (Ortiz *et al.*, 2004).

En cuanto a los resultados del análisis de suelos se pudo evidenciar que en el T1 el Al de cambio es de 0,37 cmol+/kg encontrado en un rango de 0.26-0.50 de categoría medio; en el T2 con un valor de 0,54 cmol+/kg y en el T3 de 0,56 cmol+/kg estos últimos se encuentran en una categoría alta ya que está comprendido en el rango de 0.51-0.80. (Cuadro 17). El exceso de aluminio disponible es tóxico para las plantas, causando la reducción de la disponibilidad de P, de S y de otros nutrientes en forma catiónica debido a una interacción competitiva (Acuña, 2011). Por lo que se recomienda el encalado que consiste en la aplicación masiva de sales básicas con el objeto de neutralizar la acidez del suelo causada por hidrógeno y aluminio. Los productos que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de la acidez del suelo son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio. Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una capacidad de neutralización variable (Molina, 1998).

Cuadro 18. Estimativo de Aluminio intercambiable.

Aluminio Intercambiable cmol+/kg	Rango	Categoría
	< = 0,10	Muy bajo
	0,11 – 0,25	Bajo
	0,26 – 0,50	Medio
	0,51 – 0,80	Alto
	>= 0,81	Muy alto

Fuente: Agronometría, 2015.

Microelementos del suelo

Los microelementos como el Fe, Mn, Cu, Zn, B y el S, son aquellos elementos de los cuales las plantas tienen unas necesidades muy pequeñas y cuyo contenido en el suelo es suficiente para asegurarlas. Solamente la presencia muy elevada de algún macroelemento secundario puede impedir que las plantas lo absorban (bloqueos), o que determinadas condiciones físicas del suelo (como el pH) impidan su solubilidad, y, por tanto, su disponibilidad para la planta (López y Miñano, 1988).

Hierro disponible

El hierro (Fe) se encuentra en el suelo en cantidad suficiente formando distintos compuestos como ser óxidos e hidróxidos. Sin embargo, la cantidad total no se correlaciona con la cantidad disponible para las plantas. La coloración de los suelos es debida, en su mayoría, a la presencia de los óxidos libres. Los colores amarillo- pardo de las zonas templadas-frías se deben a la presencia de óxidos hidratados como la goetita. Las coloraciones rojas de regiones áridas son debidas a óxidos no hidratados como la hematita. (Crosara, 1998).

Según Benavides, (1999) el hierro está presente en grandes cantidades en los suelos, pero su disponibilidad para las plantas es generalmente muy baja, y, por lo tanto, la deficiencia de hierro es un problema común, ya que produce clorosis entre los nervios de las hojas superiores, esta se ve favorecida en presencia de suelos con alto contenido en calcio que insolubiliza al hierro y no puede ser tomado por las plantas. Su función principal es ser catalizador en la formación de clorofila, además de ser un componente de las enzimas.

Según el análisis del laboratorio de suelos realizado, en el primer tratamiento se presentó 113 mg/kg de hierro disponible en el suelo, en el segundo tratamiento 75,5 mg/kg y en el último tratamiento una cantidad de 83,3 mg/kg de hierro, por lo que podemos concluir según el cuadro 15 de estimativos, que en estos suelos hay una alta cantidad de Fe por que se encuentra en un rango mayor a 50 mg/kg. Salvo raras excepciones, los casos de toxicidad por Fe no suelen producirse, debido a la rapidez de conversión del hierro soluble en compuestos insolubles no disponibles para la planta. Suelos con contenido de Fe total mayor a 50 mg/kg no provocan efectos tóxicos en los cultivos que se desarrollan en ellos (Nuac, 2008).

Manganeso disponible

El manganeso se halla principalmente como óxido, pero también en forma de silicato o carbonato. A través de procesos de meteorización de estos compuestos entran iones de Mn^{2+} a la solución del suelo. Estos iones pueden ser adsorbidos o fijados después en las superficies positivas de los cationes de intercambio. Además del contenido de minerales arcillosos del suelo, en la retención del Mn son sobre todo importantes el valor del pH y el potencial redox del suelo.

La deficiencia de manganeso se presenta sobre todo en suelos orgánicos y con

contenido de carbonato debido a la fijación del manganeso. Suelos arenosos humíferos y podsolizados son más bien pobres en Mn, porque bajo estas condiciones el manganeso casi no es retenido en el suelo (Gransee, 2015).

La presencia del Mn disponible, depende tanto del pH como del potencial redox. A pH superior a 5,5 se favorece la oxidación por acción biológica en suelos bien aireados, por lo que disminuye su disponibilidad. A su vez, las formas oxidadas se reducen, pasando ser más disponibles, a pH más ácido y en suelos reducidos (Crosara, 1998).

De acuerdo al análisis efectuado a nivel del manganeso disponible en el primer tratamiento es medio debido a que es de 6,58 mg/kg y se encuentra en un rango de 5-10 mg/kg, el segundo y tercer tratamiento cuentan con una cantidad de Mn baja ya que valor es de 1,16 y 1,73 respectivamente, ubicados en un rango < de 5 mg/kg.

Cobre disponible

El cobre en el suelo esta principalmente adsorbido a la materia orgánica, a los óxidos de hierro y manganeso, así como también está fijado en la red cristalina que es la base estructural directa de los silicatos del suelo. Además, puede ser precipitado como hidróxido, carbonato o fosfato.

La concentración de cobre en la solución del suelo depende del contenido de materia orgánica, el pH y de la disponibilidad de agentes complejantes. El porcentaje de cobre intercambiable se incrementa generalmente con la disminución del pH. Otros elementos presentes en el suelo como el calcio, fósforo, aluminio, hierro, zinc y molibdeno pueden afectar la disponibilidad del cobre para las plantas.

La concentración de cobre para los suelos analizados es baja debido a que se encuentran en un rango < de 2 mg/kg por lo que se presentan deficiencias, principalmente en suelos limosos recién cultivados debido a la fijación del cobre. Altos niveles de N y P y exceso de Zn en los suelos promueven deficiencias de cobre. También se puede presentar deficiencia de cobre en suelos calcáreos fuertemente fertilizados con N. (Gransee, 2015)

Zinc disponible

En suelo arenosos el contenido de zinc es más bajo que en suelos limosos. El zinc disponible en la solución del suelo es adsorbido o fijado especialmente por la materia orgánica del suelo. Además, es adsorbido por los óxidos de hierro, aluminio y manganeso o fijado en la red de minerales arcillosos y silicatos. Una fijación adicional del zinc ocurre cuando el contenido de sulfatos y fosfatos en la solución del suelo es alto.

La disponibilidad de zinc es fuertemente influenciada por el pH y su contenido total

en el suelo. La cantidad de zinc intercambiable disminuye con el aumento del pH y es muy bajo a partir de un pH 6. Con el incremento del pH la afinidad del zinc aumenta considerablemente contra los óxidos de hierro y manganeso. (Gransee, 2015)

Respecto al contenido de zinc en los suelos analizados se puede determinar que es bajo ya que la cantidad de este microelemento presente en el suelo es < de 1,5 mg/kg. Los lotes que muestran la deficiencia de zinc son rara vez afectados de manera uniforme. Los síntomas de deficiencia de zinc también pueden variar de un campo a otro, dependiendo sobre todo del momento y la gravedad de la deficiencia. (Butzen, 2010)

Boro disponible

Este micro elemento en el suelo se encuentra ligado a la materia orgánica de la que es liberado progresivamente por los microorganismos; en los suelos de la finca Eucalipto la concentración de Boro es baja al encontrarse en un rango <0.3 reflejando una deficiencia ya que al ser una zona húmeda este puede ser lavado fácilmente del perfil del suelo, sobretodo en pH <7 como los registrados en el análisis realizado.

Según Sierra (2016), el B es esencial en la actividad meristemática y división celular, de ahí que una falta de este elemento produzca daños en los meristemas apicales y muerte de los ápices y brotes laterales. Esta función en la división celular explica la irregularidad en la expansión de los entrenudos y en una pobre expansión radicular. Estas funciones esenciales de las plantas son la fuente principal de pérdidas de rendimiento en cultivos de maíz, algodón, girasol, entre otros.

Para el análisis del contenido de nitrógeno total se toma como referencia los estimativos generales según Gómez (2005), (Cuadro 18).

Cuadro 19. Estimativo para el contenido de Nitrógeno total.

CLIMA	INTERPRETACION DEL % DE N TOTAL		
	BAJO	MEDIO	ALTO
FRIO	< de 0.25	0.25 – 0.50	> de 0.50
MEDIO	< de 0.15	0.15 – 0.25	> de 0.25
CALIDO	< de 0.10	0.10 – 0.20	> de 0.20

Fuente: Gómez (2005).

El contenido de nitrógeno total en los diferentes tratamientos fue de 0,47%, 0,60% y 0,59% correspondientes a suelo desnudo (T0), suelo con cultivo de maíz sin incorporación de residuos de cosecha (T1) y suelo con cultivo de maíz e incorporación de residuos de cosecha (T2) respectivamente, siendo el estimado de este macronutriente para clima frío de medio y alto porque se encuentra a valores de 0,25- 0.50 % y > de 0,50 % de nitrógeno (Cuadro 18); al respecto el ICA (1981) afirma que los suelos de clima frío, contienen más nitrógeno total que los de clima cálido, puesto que en climas donde la temperatura es baja, la actividad de los microorganismos es escasa y, por lo tanto, la velocidad de descomposición de los restos y de la materia orgánica también es muy baja dando lugar a un incremento de nitrógeno total en el suelo (Perdomo y Barbazan,2001).

Una cantidad adecuada de N aumenta el crecimiento y vigor de la planta, mientras que la deficiencia resulta en plantas pequeñas y de color pálido, a su vez afecta la captación solar, esto provoca la disminución de producción en los cultivos.

Según (Boschettr y Quintero, 2012; citados por Ayala 2013). La eficiencia fisiológica con la que las plantas utilizan el N, depende de las características de la especie y la disponibilidad de N. Si bien es un valor que fluctúa en un amplio rango, para el maíz se puede asumir una media de 40 kg de grano por kg de N absorbido en toda la planta permitiendo de esta manera producir una mayor cantidad de biomasa vegetal que se incorpora al sistema manteniendo los valores de materia orgánica haciendo sostenible el sistema.

Para el análisis del contenido de carbono orgánico presente en el suelo en estudio se parte de la identificación de los estimativos correspondientes (Cuadro 19)

Cuadro 20. Estimativos de carbono orgánico %.

CLIMA	Bajo	Medio	Ideal	Alto
Frio %	Menor 2.9	3.0 – 5.7	5.8 – 7	Mayor 7
Medio %	Menor 1.7	1.8 -2.9	3 – 4	Mayor 4
Cálido %	Menor 1.1	1.2 – 2.3	2.4 – 2.5	Mayor 2.5

Fuente: Manual Técnico de fertilización de cultivos 2005

El carbono orgánico obtenido a partir del resultado del análisis de las muestras es de 7,65% en el T0, 10,7 % y 10,3 % para T1 y T2 respectivamente, que según el estimativo estipulado para clima frío mostrado en el cuadro 19, corresponde a un

nivel alto al ser mayor al 7%, esto se debe principalmente a que en los lotes en estudio se encuentra gran cantidad de residuos de cosecha que se han ido incorporando gradualmente lo que favorece la presencia de microorganismos en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental (Jackson, 1964 citado por Martínez *et al.*, 2008).

Según Martínez *et al.*, 2008 el carbono orgánico del suelo (COS) se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas afectando las propiedades del suelo relacionadas con el rendimiento sostenido de los cultivos. El COS se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, al aportar elementos como el N cuyo aporte mineral es normalmente deficitario. Además, al modificar la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, el COS aumenta la solubilidad de varios nutrientes.

El COS asociado a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico, lo cual se ve reflejado en el presente análisis con un valor de 41,4 cmol⁺/Kg correspondiente a un estimativo alto, de igual manera como tampón sobre la reacción del suelo es decir el pH. Su efecto en las propiedades físicas se manifiesta mediante la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso del suelo. La cantidad de COS no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que es afectada fuertemente por el manejo del suelo (Aguilera, 2000).

Respecto al contenido de Azufre en el análisis de suelos se identifica un valor de 3,03 mg/kg en el T0 correspondiente a bajo y de 8,53mg/kg y 9,29 mg/kg lo que corresponde a un estimativo de medio para T1 y T2 respectivamente. Este valor puede verse influenciado por el grado de pH y contenido de materia orgánica al constituirse en una importante reserva natural de azufre en el suelo, es un elemento esencial para las plantas ya que participa en el fortalecimiento de la estructura vegetal y favorece la resistencia al frío y al ataque de plagas y enfermedades (Gonzales *et al.*, 2005).

8. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación, se deduce que el tratamiento T2 correspondiente a suelo con incorporación de residuos de cosecha de caña de maíz, presenta una menor susceptibilidad a la erosión con un valor de 1,21 kg/ha, en comparación al T1 donde no se realiza incorporación de residuos perdiéndose un total de 12,43 kg/ha, y T0 suelo desnudo 7,55 kg/ha, ya que el suelo al no presentar una cobertura vegetativa va a sufrir una disgregación de partículas por acción de las gotas de lluvia, siendo fácilmente transportadas por la escorrentía superficial; lo cual nos indica que la incorporación de residuos vegetales es una estrategia importante en el manejo sostenible de los suelos en estudio, puesto que reduce la erosión hídrica, aumenta la infiltración y el contenido de materia orgánica en la capa superficial lo que a su vez estimula la actividad biológica del suelo.

En cuanto a la cantidad de suelo erodado con relación a la altura de precipitación se encontró que existe una relación directamente proporcional, puesto que con 2,21 mm de lluvia se perdió en los tratamientos T0 suelo desnudo 0,14 kg/h, en el T1 sin incorporar residuos 0,08 kg/h, y en el T2 con incorporación de residuos 0,05 kg/h, de suelo; mientras que en el evento de lluvia donde existió mayor precipitación con un valor de 26,95 mm se presentó un incremento en la pérdida de suelo de 2,81 kg/h en el suelo desnudo (T0), 11,64 kg/h en el suelo sin incorporación de residuos (T1) y finalmente en el suelo con incorporación de residuos (T2) 0,69 kg/h, evidenciándose de esta manera que las pérdidas por erosión aumentan cuando se presentan intensidades más altas de lluvias.

En la evaluación realizada entre tratamientos en relación a las profundidades de 0-15 cm y de 15-30cm con las diferentes variables analizadas se encontró que propiedades como la D_a presentan valores más altos en las profundidades de 15-30cm con respecto a la otra profundidad evaluada, registrándose valores de 0,4 y 0,7 g/cc respectivamente y la D_r con 1,7 y 1,9 g/cc; de igual manera los porcentajes más bajos también se registraron a esta profundidad donde porosidad presentó un valor de 60,1%, humedad gravimétrica con 88,2% y humedad volumétrica con 56,9%. Esto nos señala que a medida que se va profundizando en los perfiles del suelo las propiedades físicas se van alterando de forma paulatina; de tal forma que la profundidad se convierte en un limitante para el desarrollo de las raíces, además de existir reducción en la disponibilidad de humedad y nutrimentos para las plantas, esto debido a aspectos como disminución en el contenido de materia orgánica y la formación de un horizonte B con predominio de minerales arcillosos.

Se observó que el manejo del suelo y el sistema de producción de maíz (*Zea mays*) que posteriormente sirve como tutor al frijol, incorporando residuos de cosecha, que se presenta en la finca Eucalipto, contribuye de manera significativa

al mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo; encontrándose valores de D_a que fluctúan entre 0,4 y 0,7 g/cc, densidad real 1,7 y 1,9 g/cc, porosidad promedio de 68,95%, humedad gravimétrica y volumétrica de 111,88 % y 61,46 respectivamente, suelos con colores oscuros debido a la presencia de materiales orgánicos en descomposición con buen contenido de humedad, siendo aptos para el manejo y producción de cultivos.

9. RECOMENDACIONES

Debido a que la erosión y la pérdida de nutrientes por acción de la escorrentía no se combaten con medidas de control mecánico, se recomienda la implementación de residuos de cosecha, evitando la quema de los mismos, ya que el uso de estas prácticas adecuadas en el manejo de los cultivos, impide que el agua fluya libremente por la superficie haciendo que se infiltre lo más posible, contribuyendo de esta manera al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del recurso suelo.

Promover un adecuado manejo de la materia orgánica con el fin de mejorar las propiedades física y química del suelo y por ende la fertilidad de este recurso y el aumento de la producción.

Teniendo en cuenta que en el análisis de las propiedades químicas se encontró un pH fuertemente ácido, ligado a deficiencias de Ca y Mg, se recomienda la implementación de enmiendas de cal dolomita rica en estos macronutrientes, al ser una alternativa eficaz para corregir suelos ácidos y neutralizar la toxicidad del aluminio; su adición debe realizarse cada dos años, por ser una enmienda que reacciona gradualmente en el suelo, ya que mantiene un efecto residual básico prolongado; es decir que las partículas más finas actúan en los primeros tres meses y las partículas más gruesas siguen reaccionando hasta después de un año y medio de su aplicación.

BIBLIOGRAFÍA

Acuña Alejandra. 2011. "Aluminio en el suelo". Global Césped. Chile.

Alzugaray, Claudia, M. Sofia Vilche y Cristina Petenello (2008). "Labor profunda en siembra directa: Efecto sobre la condición biológica del suelo" *Cien. Inv. Agr.* 35(3): 265-276.

Almorox Alonso; lopez Bermudez F; Rafaelli S. 2010. "Degradacion de los suelos por erosion hídrica, métodos de estimación". Universidad de Murcia. Pág. 25.

Aldana, Alberto.2005. "Propiedades de los suelos" Modulo Edafología y fertilidad primera edición. Bogotá D.C. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Argueta, M.T. 1996. Análisis de la producción y utilización de rastrojos y su efecto sobre el riesgo de erosión en el departamento de Morazán. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ingeniería, Universidad Centroamericana "José Simeón Canas," San Salvador, El Salvador.

Ayala Alexandra Elizabeth. 2013. "Validación de un Bio - fertilizante orgánico (*Paenibacillus polymyxa*) como fijador de nitrógeno en cultivo de maíz (*Zea mays L*)". Industrias Agropecuarias y Ciencia Ambientales. Desarrollo Integral Agropecuario. Universidad Politécnica Auxiliar del Carchi. Tulcán. Pág. 48

Baver D y Gardner W.1991. "Química del suelo". U.T.H.E.A. México. Pag.529.

Benavides, M. A., 1999. "Absorción y asimilacion de hierro en las plantas". Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México.

Botero Wesley. 1978. "Evolución de la fertilidad de los suelos", Tomado del Curso de Actualización sobre suelos y fertilizantes. Pág. 162-163.

Bravo Jairo Sarasty, Jimmy Andrés Ortega, Jesús Antonio Castillo. 2013 "Diagnostico de manejo de suelo en un sistema productivo y plantación de árboles usando un minisimulador de lluvia en Antiplano Pasto". Facultad de ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto.

Burbano F Y Cadena W. 2009. Determinación de las características edafoclimáticas que garantizan la producción y calidad nutritiva del pasto brasilero (*Phalaris sp*), en condiciones de no intervención, en un rango de altitud comprendida entre 3050 – 3300 m.s.n.m. en el municipio de Guachucal, departamento de Nariño.

Butzen, S. 2010. "Fertilización y deficiencias de zinc en la producción de maíz". Conocimientos agrícolas. Provincia de Buenos Aires. Argentina

Casanova Olivo Eduardo Felipe. 2005. "Introducción a la ciencia del suelo" Universidad central de Venezuela. Consejo de desarrollo científico y humanístico. Caracas, Venezuela. Pag. 99.

Castro Jimena del Rosario y Martínez Jaramillo Edwin Alfredo. 2008. "formulación del Plan de Gestión Ambiental del Municipio de Sibundoy Putumayo". Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales. San Juan de Pasto.

Castro Franco Hugo E y Gómez. 2010. "Ciencia del suelo, principios básicos", Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo. Ed. Guadalupe S.A Bogotá Colombia.

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". *Ciencia Suelo*. 25 (2): 173-178.

Chaveli, P, Font, B. Calero, P. López. AM. Francisco, RD. Caballero, M. Valenciano. 2.006. "Evaluación de algunos indicadores microbiológicos en dos suelos arroceros de la provincia de Camagüey" Cuba. ITEA. 102 (1). Pag. 3 – 12.

Cisneros, José Manuel. Carmen Gloria Cholaky. Alberto Cantero G; Jorge Gustavo González. Miguel Angel Reynero. Alejandro Diez. Leonardo Bergesio 2012. "Erosión hídrica principios y técnicas de manejo". Universidad Nacional de Rio Cuarto UNRC. Cordoba, Argentina. UniRio Editora.

Colomer, D. 2001. "Clasificación de erosión. Manual de edafología". Bogotá D.C

Crosara A. 1998. "Nutrientes del Suelo". Curso de Edafología. Facultad de Ciencias. Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay.

DANE, 2009. Documento de Discusión Nacional acerca de los Asuntos Claves en el Análisis del Sector Agricultura (Mitigación)

Díaz, G. S., J. A. Cabrera y M. Ruiz 2009. "Modificaciones a las propiedades físicas del suelo por la acción de diferentes prácticas productivas para cultivar arroz (*Oryza sativa* L.)" *Cultivos Tropicales*. 30 (3): Pág. 40-45.

Docampo Roberto. 2001. "La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola". INIA Las Brujas – Estación Experimental "Wilson Ferreira Aldunate". Pág. 85.

Duarte Restrepo, B. 2003. "Solubilización microbiana de fosfatos en la perspectiva del manejo ecológico". En: Programa de escuela en sistemas de comercialización y producción agropecuaria sostenible para caracterizadores. Micro bióloga FUNCOP cauca.

FAO. 1980. metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO-PNUMA-UNESCO. Pág. 86.

FAO 2000. "Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos". Boletín de Tierras y Aguas de la FAO 8. Instituto Internacional de Agricultura Tropical. Pág. 29, 11.

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.

Flores Lourdes Delgadillo y Jorge Rene Alcalá Martínez. 2010. "Manual de procedimientos Analíticos laboratorio física de suelos". Instituto de Geología, departamento de Edafología. Universidad Nacional Autónoma de México. Pág. 79.

Foth H.D. 1987. "Fundamentos de la Ciencia del Suelo". Compañía editorial Continental, S.A. de C.V. Calz. De Tlalpan número 4620, México 22, D.F. Pág. 433.

Gascó, JM. 1998. "Problemas y prácticas diferenciadas del control de la fertilidad en distintas zonas edafoclimaticas. En: la fertilización en los sistemas agrarios". Una perspectiva histórica Ed. Visor. Fundación Argentaria. Madrid.

Garrido, V. S, 1993. "Interpretación de análisis de suelos". Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Dirección general de investigación y capacitación agrarias, Madrid.

Gaspari, Fernanda y Juan E. Bruno 2003. "Diagnóstico de degradación ambiental por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napostá Grande". *Ecología Austral* Pág. 13:109-120.

Gavande S. 1998. "Física de suelos principios y aplicaciones. El suelo". Editorial limusa. México. Pág. 34.

Gonzales Hernán Osorio; Siavosh Sadeghian; Beatriz Mejía Muñoz. 2005. "El azufre en los suelos cafeteros de la zona Colombiana". Federación Nacional de Cafeteros Cenicafé. Gerencia técnica programa de investigación científica. Chinchiná, Caldas, Colombia.

GOMEZ J. 2002. Evaluación de un método para determinar densidad aparente, macroporosidad y microporosidad en el suelo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía., 1974. 49 p.

Gransee Andreas. 2015. "fertilizantes". Consultoría Agraria de K+S KALI GmbH. IAPN. Estados Unidos.

Gros, A. y Domínguez, A. 1992. "Abonos guía práctica de la fertilización". 8va. edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Pág. 450.

Guerrero, R. 1980. "La recomendación de fertilidad, fundamentos y aplicaciones". En Fertilidad de Suelo, diagnóstico y control Bogotá SCCS. Pág. 225-267.

Guevara Dorkas Andina. 2002. "Fuentes fertilizantes portadoras de elementos secundarios". In: Silva M., F. Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá. Bogotá. Pág. 105–113.

Hernández Díaz María Isabel, Chailloux Laffita Marisa, Moreno Placeres Víctor, Igarza Sánchez Alberto, Ojeda Veloz Anselma. 2014. "Niveles referenciales de nutrientes en la solución del suelo para el diagnóstico nutricional en el cultivo protegido del tomate" Volumen 32, N° 2. Pág. 79-88 IDESIA (Chile)

Henríquez, C y Cabalceta, G. 1999 Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Pág. 112.

Heredia, Olga S., Lidia Giuffré, Florentino J. Gorleri y Marta E. Conti (2006). "Calidad de los suelos del norte de Santa fe. Efecto de la geomorfología y el uso de la tierra". *Cienc. Suelo* (Argentina). 24 (2) Pág. 109-114.

Herrero Martha Ribo. 2003. "Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado y ecológico". TESIS DOCTORAL. Departamento de Recursos Naturales Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Departamento de recursos naturales, Universidad de Valencia. Pág. 36.

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. Pág 61.

Denoia, O. Sosa, G. Zerpa Y B. Martín. (2000). Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. Manejo de Tierras. 2 Forrajes. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. CC 14. S 2125 ZAA Zavalla (Argentina). Pág 130.

Jaramillo Daniel F. 2002 “Introducción a la Ciencia del suelo”. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín.

Jaramillo, Daniel (2008). “Variabilidad espacial de las propiedades químicas del epipedón de un Andisol hidromórfico del oriente antioqueño (Colombia)”. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* – Medellín.

Jiménez 1993. “Evaluación de la fertilidad del suelo”. *In: Silva M., F. (Ed.). Fertilidad de suelos; diagnóstico y control.* Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Pág. 155–186.

Kappelle, M 2009. “Erosión de suelos”. Fundación Global Democracia y Desarrollo (FUNGLODE). Diccionario enciclopédico dominicano de medio ambiente.

Kaurichev, I.S. 1984. “Prácticas edafológicas”. 1 edición en español. Ed. Mir. Moscú. Pág. 280.

Kononova M.M.1982. “Materia orgánica en el suelo, sus propiedades, naturaleza y métodos de investigación”. Oiko-Thaus ediciones. Barcelona.

Leon Tomas y Liliana Rodriguez, 2003. “Ciencia tecnología y ambiente en la agricultura Colombiana”. Cuadernos Tierra y Justicia N°4. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de estudios ambientales IDEA. Pág. 22

León P. J.D. 2001. “Estudio y Control de la Erosión Hídrica”. Medellín: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia.

Leibovich José y Laura Estrada 2008. Competitividad del sector Agropecuario Colombiano.

López, G. y Miñano F. 1988. “Métodos rápidos de análisis de suelos”. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Dirección general de investigación y capacitación agrarias, Madrid.

Lozano, Zenaida, Deyanira Lobo e Idelfonso Pla. 2000. “Diagnóstico de limitaciones físicas en inceptisoles de los llanos occidentales Venezolanos”. *Bioagro*. 12 (1): Pág 15-24.

Lal, R y Stewart B. A., 1995 Erosión y conservación de suelos. Venezuela 298 p.

Marín Julian. 1986. “Variabilidad espacial del Nitrógeno disponible en los andisoles de la zona cafetera”. Tesis: Ingeniero Agrónomo. Palmira (Colombia), Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Pág 90 .

Martínez Eduardo H; Juan Pablo Fuentes E; Edmundo Acevedo H. 2008. "Carbono Orgánico y Propiedades del suelo". Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola. Laboratorio de relación Suelo-Agua-Planta. Casilla 1004. Santiago de Chile.

Mejía López Ginna. 1996. "El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal". Química agrícola. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. Pág 487.

Molina Eloy. 1998. "Encalado para la corrección de la acidez del suelo". Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Pág. 5.

Monegat, C. 1991. Plantas de cobertura do solo. Características de manejo en pequeñas propiedades. Chapecó, Brasil. Pág 337.

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. Pág 3-28.

Montenegro, H y D. Malagón (1990). "Propiedades físicas de los suelos". *Instituto Geográfico Agustín Codazzi* (IGAC). Bogotá. 813 p.

Noguera Alejandra Maritza y Jorge Alberto Vélez L. 2010 "Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferente usos". Revista de ciencias Agrícolas. Facultad de ciencias Agrícolas Universidad de Nariño.

Nuac Francisco, 2008 "Hierro" Síntomas por exceso. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España.

Orozco, H. 1984. "La materia orgánica de los suelos y su relación con los abonos orgánicos". En Curso Fertilización Racional del Suelo. SCCS. Medellín. Pág. 339-367.

Ortiz. Jaime A. 2013. "Evaluación de impacto ambiental derivado por los procesos de expansión de fronteras agropecuarias y su mitigación mediante la implementación de sistemas agroforestales, en las condiciones ecológicas de bosque seco tropical". Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal.

Ortiz, E. M.; Zapata. H. R.; Sadeghian, K. S.; Franco, A. H., 2004. "Aluminio Intercambiable en suelos con propiedades ándicas y su relación con la toxicidad". Cenicafé. Manizales, Caldas.

- Olmos, E. y Montenegro, H., 1987. Inventario de los problemas de la erosión y degradación de los suelos de Colombia. "La degradación de los suelos en Colombia", Neiva (Colombia) Pág. 23
- Perdomo Carlos y Mónica Barbanza. 2001. "Nitrógeno". Área de suelos y agua cátedra de fertilidad. Facultad de Agronomía Universidad de la Republica. Montevideo Uruguay.
- Ramírez de Jara, María y Pinzón, Carlos. 1987. "Introducción a la Colombia Amerindia". Instituto colombiano de antropología. (Bogotá).
- Ramos Castellanos Javier. 2014. "Manejo y corrección de la acidez de los suelos. Especialidad en fertilidad de suelos y nutrición vegetal". México.
- Rivera, Mariela 2008. "Determinación de la dinámica del agua en el sistema agroforestal Quesungual e identificación de factores suelo-planta para el mejoramiento de la productividad del agua en los cultivos". Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias Agrarias. Palmira Valle del Cauca.
- 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): Pág. 239-242.
- Roldán, M., Venialgo, C. y Gutiérrez, N. 2004." Potasio disponible, de reserva y energía de reemplazamiento en suelos y el nivel foliar en rye-grass. "Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos - Facultad de Ciencias. Agrarias - UNNE. Corrientes, Argentina.
- Salamanca Albeiro y Siavohs Sadeghian. 2004 "La densidad aparente en suelos de la zona cafetera y su efecto sobre el crecimiento del cafeto". Avances Técnicos Cenicafe.
- Salamanca Sanabria, R 1984. "Suelos y fertilizantes". Bogotá: Universidad Santo Tomás, Pag.46, 47, 141.
- Santos Trinidad A. 1987. "El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola". Centro de edafología. Chapingo México.
- 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) Pág. 93-100.

Saturnino del Alba Alonso; Alcazar Toralba Maria; Cermeño Martin Fernando; Barbero Abolafio Fernando 2011. "Erosión y manejo del suelo". Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos. Instituto de geociencias. Departamento Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid.

Sierra Carlos Y Rojas Carlos. 1988. "La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de cultivos". Tecnologías y parcticas en el manejo de los recursos naturales para la recuperación de suelos degradados. Centro Regional de Investigación La Platina. Pág. 17. Santiago de Chile.

Sierra Carlos, 2016. "El Boro en el suelo y las plantas". El mercurio campo. Santiago de Chile.

Soriano S.M Y Pons M.V. 2004. "Prácticas de edafología y climatología". México D. F: Alfaomega Grupo Editor. Pág. 33, 35, 38.

Suárez, F. 1980. "Conservación de Suelos". Serie de libros y materiales educativos n° 37. Edit IICA. San José, Costa Rica.

Tapia C.E. Y Rivera C.C. 2010. "Determinación de los factores climáticos y edáficos que intervienen en la producción y calidad nutritiva del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoeschst) en condiciones de no intervención en el municipio de Guachucal, departamento de Nariño". Pasto - Colombia. Trabajo de grado (Zootecnista). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de Zootecnia.

Thompson Bruno. 1993. "Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto". Agro insumos del café S.A. Pág 94.

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

Torres, D. M., 2016. "Funcionamiento del K en el sistema suelo-planta". Montevideo, Uruguay. Pág. 99.

Unigarro Sanchez Alberto E, Insuasty Bravo Ruth Liliana, Chaves Jurado German E. 2009. "Manual de prácticas de laboratorio suelos Generales". Universidad de Nariño. Pag. 45.

Vercarcel Ricardo (1989). "Estudio de los procesos erosivos en una Microcuenca, zona central de España, Puebla de Valles, Guadalajara". Universidad Politecnica de Madrid. Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.

Vega Torres Leonardo Patricio 2008. "Evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de Coquimbo". Talca Chile.

Velásquez, Henry, Juan C. Menjivar y Carlos A. Escobar (2007). "Identificación de suelos susceptibles a riesgos de erosión y con mayor capacidad de almacenamiento de agua". *Acta Agron* (Colombia). 56 (3): 117-125

Viveros, M. 1988. "Diagnóstico químico del suelo". En: Curso sobre diagnóstico – fertilidad e interpretación de análisis de suelos. Pasto, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. pág. 1-31

Yapur, Sandra (2010). "Determinación de la Erosión Hídrica Potencial de los Suelos de la Cuenca Inferior del Río Bermejo, Salta- Jujuy". Universidad Nacional de Salta.

ANEXOS

Anexo A. Resultados de algunas de las propiedades Físicas evaluadas en cada una de las 3 parcelas (3 cajuelas por parcela) de los tratamientos a profundidades 1 (0-15 cm) y 2 (15-30 cm).

Tratamiento				Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)
T(0) SUELO DESNUDO	1	1	1	0,6	1,5	63,72	92,3	51,5
		2	1	0,5	2,0	72,80	106,7	58,1
		3	1	0,5	2,2	78,82	117,7	55,4
		Promedio		0,5	1,9	71,78	105,6	55,0
	2	1	1	0,5	1,8	71,09	111,2	58,5
		2	1	0,6	1,8	65,83	75,7	47,1
		3	1	0,5	2,0	73,62	109,3	57,7
		Promedio		0,6	1,9	70,18	98,7	54,4
	3	1	1	0,6	2	71,48	100,4	57,2
		2	1	0,5	1,7	69,32	100,8	51,5
		3	1	0,5	1,5	67,43	113,8	57,0
		Promedio		0,5	1,7	69,41	105,0	55,3
	Promedio por Tratamiento				0,54	1,84	70,46	103,12

Tratamiento T0				Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)
T(0) SUELO DESNUDO	1	1	2	0,7	2,0	64,75	82,1	58,1
		2	2	0,8	1,7	53,19	68,9	53,8
		3	2	0,6	1,5	59,35	79,5	49,7
		Promedio		0,7	1,7	59,1	76,8	53,9
	2	1	2	0,7	2,0	63,13	76,8	56,6
		2	2	0,5	2,0	77,29	156,1	70,9
		3	2	0,7	1,8	59,33	76,3	56,4
		Promedio		0,6	1,9	66,6	103,1	61,3
	3	1	2	0,8	2,0	58,34	62,8	52,4
		2	2	0,5	2,2	76,44	110,1	57,7
		3	2	0,7	1,5	54,71	81,3	56,6
		Promedio		0,7	1,9	63,16	84,7	55,5
	Promedio por Tratamiento				0,67	1,86	62,95	88,22

Tratamiento				Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)
(T1) SUELO CON CULTIVO DE MAIZ SIN INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA	1	1	1	0,6	1,7	65,65	121,7	69,7
		2	1	0,4	1,8	75,35	123,6	55,4
		3	1	0,4	1,7	77,88	174,6	64,4
	Promedio			0,5	1,7	72,96	140,0	63,2
	2	1	1	0,7	1,8	63,92	97,5	64,0
		2	1	0,4	1,7	75,92	179,7	72,1
		3	1	0,3	1,5	82,92	293,8	77,2
	Promedio			0,4	1,7	74,25	190,3	71,1
	3	1	1	0,4	2,5	84,68	195,7	75,0
		2	1	0,5	1,5	69,01	142,3	67,8
		3	1	0,5	2,0	76,27	144,6	68,7
	Promedio			0,4	2,0	76,65	160,9	70,5
	Promedio por Tratamiento				0,45	1,80	74,62	163,74

Tratamiento T1				Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)
(T1) SUELO CON CULTIVO DE MAIZ SIN INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA	1	1	2	0,7	1,5	56,43	96,0	64,4
		2	2	0,6	1,8	67,51	123,4	72,9
		3	2	0,8	1,5	46,90	72,8	59,5
	Promedio			0,7	1,6	56,95	97,4	65,6
	2	1	2	0,6	3,3	80,87	98,7	62,9
		2	2	0,7	1,4	49,66	87,8	63,2
		3	2	0,7	1,8	63,03	94,2	63,4
	Promedio			0,7	2,2	64,52	93,6	63,2
	3	1	2	0,6	1,8	65,94	95,1	58,9
		2	2	0,7	1,8	61,57	88,0	61,5
		3	2	0,7	1,3	48,66	88,7	60,7
	Promedio			0,7	1,7	58,72	90,6	60,4
	Promedio por Tratamiento				0,68	1,83	60,06	93,88

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)	
(T2) SUELO CON CULTIVO DE MAIZ E INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA	1	1	1	0,5	2,0	73,9	124,6	65,0
		2	1	0,5	2,2	76,7	132,7	68,7
		3	1	0,6	1,5	63,6	114,5	64,2
		Promedio		0,5	1,9	71,41	123,9	65,9
	2	1	1	0,5	1,8	70,9	119,6	63,4
		2	1	0,5	1,7	67,9	112,9	60,5
		3	1	0,6	2,5	74,7	89,4	56,4
		Promedio		0,6	2,0	71,15	107,3	60,1
	3	1	1	0,6	1,3	57,8	125,7	70,7
		2	1	0,6	1,7	66,6	109,2	60,7
		3	1	0,7	1,8	64,1	102,8	67,0
		Promedio		0,6	1,6	62,87	112,6	66,1
	Promedio por Tratamiento			0,56	1,84	68,48	114,60	64,06


Tratamiento T2			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)	
(T2) SUELO CON CULTIVO DE MAIZ E INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA	1	1	2	0,5	1,8	72,0	120,8	61,5
		2	2	0,5	1,5	66,9	134,8	68,7
		3	2	0,6	1,4	60,2	111,8	63,6
		Promedio		0,5	1,6	66,37	122,5	64,6
	2	1	2	0,5	2,2	76,2	118,5	62,7
		2	2	0,5	2,0	74,0	119,6	62,1
		3	2	0,6	2,5	77,0	112,8	64,8
		Promedio		0,5	2,2	75,74	116,9	63,2
	3	1	2	0,6	1,8	66,9	94,6	56,8
		2	2	0,8	1,8	57,8	73,5	56,4
		3	2	0,7	2,0	65,0	83,7	58,7
		Promedio		0,7	1,9	63,22	83,9	57,3
	Promedio por Tratamiento			0,59	1,90	68,44	107,78	61,70

Bnexo B. Análisis de color

Análisis del Color del suelo según tabla Munsell Profundidad 0 - 15 cm				
Tratamiento	Color según tabla Munsell		Muestras	% muestras
			Suelo Húmedo	Suelo Húmedo
(T2) SUELO CON CULTIVO DE MAIZ E INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA	5YR 2,5/2	Pardo Rojizo oscuro	1	11,11
	10YR 2,5/2	Pardo muy oscuro	4	44,44
	10YR 2,5/2	Pardo muy oscuro		0,00
	10YR 2,5/2	Pardo muy oscuro		0,00
	10YR 2,5/2	Pardo muy oscuro		0,00
	10YR 3/2	Pardo gris muy oscuro	1	11,11
	10YR 3/4	Pardo Amarillo oscuro	1	11,11
	10YR 4/3	Pardo oscuro	1	11,11
	10YR 4/4	Pardo Amarillo oscuro	1	11,11
			9	100

Análisis del Color del suelo según tabla Munsell Profundidad 15 - 30 cm				
Tratamiento	Color según tabla Munsell		Muestras	% muestras
			Suelo Húmedo	Suelo Húmedo
(T2) SUELO CON CULTIVO DE MAIZ E INCORPORACIÓN DE RESIDUOS DE COSECHA	10YR 2,5/2	Pardo muy oscuro	2	22,22
	7,5YR 3/2	Pardo oscuro	1	11,11
	5YR 2,5/2	Pardo Rojizo Oscuro	1	11,11
	10YR 3/2	Pardo gris muy oscuro	1	11,11
	10YR 2,5/2	Pardo muy oscuro		0,00
	7,5YR 4/4	Pardo oscuro	1	11,11
	10YR 5/4	Pardo Amarillo	1	11,11
	10YR 4/3	Pardo oscuro	1	11,11
	10YR 3/3	Pardo oscuro	1	11,11
			9	100

Cnexo C. Análisis químico.

	SECCION DE LABORATORIOS REPORTE ANÁLISIS DE SUELOS AGRICOLAS	Código: LBE-PRS-FR-115 Página: 1 de 1 Version: 2 Vigente a partir de: 2014-01-15	
DATOS USUARIO		DATOS MUESTRA	REPORTE No. LSIA-R-53-16
USUARIO DEL SERVICIO:	Lizeth Burgos	Tipo de Muestra	Suelo Agrícola
CC - Nit:	1122783840	Fecha Recepción Muestra	AA 16 MM 05 DD 03
		Fecha ejecución del análisis	AA 16 MM 05 DD 19 AL AA 16 MM 05 DD 27
Dirección:	Sibundoy Putumayo	Fecha Emisión del Reporte	AA 16 MM 05 DD 31
Teléfono:	3138193524	Procedencia	
e-mail:	nadianlizeth@hotmail.com	Departamento:	Putumayo
Propietario:	Edgar Oviedo Diaz	Municipio:	Sibundoy
Análisis Solicitado:	Completo	Vereda:	
		Finca:	Eucalipto
		Area del Lote:	
		Cultivo actual:	Maíz
		Cultivo Proyectado:	
		Fertilizantes Aplicados:	
		Topografía:	Pendiente
		Altitud (msnm):	2100
		Profundidad:	6m

PARAMETROS QUIMICOS				Código muestra - Identificación Lote		
ENSAYOS	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD DE MEDIDA	LSIA-450-16	LSIA-451-16	LSIA-452-16
				Maíz 2 meses	Maíz 4 meses	Suelo Desnudo
pH, Potenciómetro Relación Suelo: Agua (1:1)	NTC 5264	Potenciometrica		5,48	5,40	5,38
Materia Orgánica	Walkley-Black (Colorimétrico)- NTC 5403	Espectrofotometrica uv-vis	%	13,2	18,4	17,7
Fósforo disponible	Bray II y Kurtz NTC 5350	Espectrofotometrica uv-vis	mg/Kg	5,90	15,5	37,3
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC)	CH ₃ COONH ₄ 1NpH7 NTC 5268	Volumétrica	cmol ⁺ /Kg	41,4	54,8	43,6
Calcio de Cambio	CH ₃ COONH ₄ 1NpH7 NTC 5349	Espectrofotometría de Absorción Atómica		1,03	4,65	5,33
Magnesio de Cambio				0,51	0,44	0,66
Potasio de Cambio				0,36	0,47	0,41
Aluminio de Cambio	Extracción KCl 1N NTC 5263	Volumétrica		0,37	0,54	0,56
Hierro disponible	DTPA - NTC 5526	Espectrofotometría de Absorción Atómica	mg/Kg	113	75,7	83,3
Manganeso disponible				6,58	1,16	1,73
Cobre disponible				0,30	0,34	0,59
Zinc disponible				0,17	0,61	1,42
Boro disponible	Agua Caliente NTC 5404	Espectrofotometrica uv-vis		0,02	0,19	0,28
Nitrógeno Total	Con base en la materia	Cálculo	%	0,47	0,60	0,59
Carbono Orgánico	Walkley-Black (Colorimétrico) NTC5403	Espectrofotometrica uv-vis	%	7,65	10,7	10,3
Azufre disponible	[Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O] 0,008M NTC 5402	Espectrofotometrica uv-vis	mg/Kg	3,03	8,53	9,29

PARAMETROS FISICOS						
F=Franco - Ar=Arcilloso A=Arenoso - L=limoso	Al Tacto		Grado Textura	F	Orgánico	Orgánico
Densidad Aparente	Probeta graduada	Gravimétrica	g/cc	0,53	0,54	0,59

OBSERVACIONES: LABORATORIO USUARIO LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA. UNA VEZ ENTREGADO ESTE INFORME DE RESULTADOS EL LABORATORIO DEJA DE TENER CONTROL SOBRE SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL. ND = No se determinó

TABLA DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS (ICA, Fertilización en diversos Cultivos, Quinta Aproximación)									
Bases Intercambiables	UNIDADES: cmol ⁺ /Kg			Fósforo y Elementos Menores	UNIDADES: mg/Kg			pH	
	BAJO	MEDIO	ALTO		BAJO	MEDIO	ALTO	Valor	Categoría
Ca	< de 3	3 - 6	> de 6	P	< de 20	20 - 40	> de 40	< de 5,5	Extremadamente ácido
Mg	< de 1,5	1,5 - 2,5	> de 2,5	Fe	< de 25	25 - 50	> de 50	5,5 - 5,9	Moderadamente ácido
K	< de 0,2	0,2 - 0,4	> de 0,40	Mn	< de 5	5 - 10	> de 10	6,0 - 6,5	Adecuado
Materia Orgánica Según el Clima (%)				Cu	< de 2	2 - 3	> de 3	6,6 - 7,3	Neutro
FRIO	< de 5	5 - 10	> de 10	Zn	< de 1,5	1,5 - 3	> de 3	7,4 - 8,0	Alcalino
MEDIO	< de 3	3 - 5	> de 5	B	< de 0,2	0,2 - 0,4	> de 0,4	> de 8	Muy alcalino
CALIDO	< de 2	2 - 3	> de 3	S	< de 10	10 - 20	> de 20		
Conductividad electrica (Grado de Salinidad) dS/m - Decisimenes/metro									
No Salino	Ligera salinidad			Moderado			Fuerte		Muy Fuerte
0 - 7	1 - 4			4 - 8			8 - 15		Mayor de 15

Revisó
2016-06-02

Original firmado
María del Rosario Carreño Castellanos

Aprobación del Reporte:

Elaboró: MUP 2016-06-02

FIN REPORTE DE RESULTADOS

Pasto (Nariño) Calle 18 No. 50-02 Ciudad Universitaria Torobajo- Teléfono 7311449 ext. 222-256 Fax. 7314477- e.mail labsuelosagricolas@udenar.edu.co