

**EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN
SUELO AERIC TROPIC FLUVAQUENTS SOMETIDO A DIFERENTES
TIEMPOS DE USOS EN EL SISTEMA FRÍJOL VOLUBLE (*Phaseolus vulgaris*)
CON RELEVO MAÍZ (*Zea mays*).**

ADRIANA DEL SOCORRO GUERRA ACOSTA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN DE CULTIVOS
SAN JUAN DE PASTO**

2014

**EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN
SUELO AERIC TROPIC FLUVAQUENTS SOMETIDO A DIFERENTES
TIEMPOS DE USOS EN EL SISTEMA FRÍJOL VOLUBLE (*Phaseolus vulgaris*)
CON RELEVO MAÍZ (*Zea mays*).**

ADRIANA DEL SOCORRO GUERRA ACOSTA

TESIS DE GRADO

Director de la tesis

MARCO HUGO RUIZ ERASO I.A. M.Sc. Ph.D

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS

ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN DE CULTIVOS

SAN JUAN DE PASTO

2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

HERNÁN BURBANO I.A. M.Sc.

Jurado delegado

AMANDA SILVA PARRA I.A. M.Sc. Ph.D

Jurado

MARINO RODRÍGUEZ I.A. M.Sc.

Jurado

MARCO HUGO RUIZ ERASO I.A. M.Sc. Ph.D

Director

San Juan de Pasto, Junio de 2014

**“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son
responsabilidad de los autores”**

**Artículo 1º de Acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966 emanado por el
Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.**

Dedicatoria

*Gracias a Dios, por todo lo que me ha dado en la vida
Gracias a mi Esposo Nairo Eduardo y mis hijos Natalia A y José David que son el
motor para seguir adelante*

*Gracias a mis padres Aura Teresa y José Oliver, a mis hermanas Gladys, Lida,
Silvia y mis sobrinos por su apoyo incondicional
Gracias a la familia Cuellar Ceballos porque fueron el pilar para que este logro se
diera.*

*A mis amigas Maribel Acosta y Pilar Mora por todo el apoyo que me dieron en los
momentos difíciles*

AGRADECIMIENTOS

La investigadora, expresa sus agradecimientos por el apoyo recibido durante la planeación, ejecución y evaluación del trabajo de investigación a las siguientes personas y grupos:

Al doctor Marco Hugo Ruiz Eraso director del trabajo de investigación, por sus invaluable aportes de sus conocimientos, dedicación y apoyo en todo el proceso investigativo.

Al Instituto Tecnológico del Putumayo, por su apoyo económico para el proceso de formación docente.

A la especialista Pilar Mora Vanegas docente del Instituto Tecnológico del Putumayo, por haber facilitado la información necesaria para el proceso estadístico del proyecto.

Al magister Jorge Vélez docente del programa de ingeniería agroforestal de Universidad de Nariño, por su colaboración en el proceso estadístico del proyecto.

Al doctor Hernando Criollo Escobar, por su apoyo en el proceso estadístico final del proyecto.

A los agricultores de municipio de Sibundoy por brindarme la oportunidad de realizar el proyecto de investigación

A los profesionales de los laboratorios de química de suelos María del Rosario Carreño, física de suelos Hernán David Mena, e hidráulica Roberto García de la Universidad de Nariño.

Y a todas las personas que de una u otra manera, contribuyeron en este proceso investigativo.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	12
1. INTRODUCCIÓN	16
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
3. MARCO TEÓRICO	18
3.1 DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS BAJO USO INTENSIVO	18
3.2. LOS MONOCULTIVOS Y LA INFLUENCIA SOBRE EL SUELO	20
3.3 DEGRADACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	21
3.4. DEGRADACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	23
3.4.1 Evaluación de algunas propiedades químicas.	23
3.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL MUNICIPIO DE SIBUNDOY Y DE LA ZONA DE ESTUDIO	25
4. METODOLÓGICA PROPUESTA	27
4.1 LOCALIZACIÓN	27
4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	28
4.3 MUESTREO	29
4.4 VARIABLES EVALUADAS	29
4.4.1 Propiedades físicas.	29
4.4.2 Propiedades Químicas.	30
4.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	31
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
5.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	33
5.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	45
5.3 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FRÍJOL VOLUBLE (kg/ha), EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE USO DE LOS SUELOS.	51
5.4 ANÁLISIS MULTIVARIADO	53
5.4.1 Correlaciones múltiples entre las variables evaluadas.	53

5.4.2 Componentes principales.	58
5.4.3 Análisis de conglomerados.	61
6. CONCLUSIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	74

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Variables y técnicas utilizadas para las propiedades físicas de los suelos.	30
Tabla 2. Variables y técnicas utilizadas para las propiedades químicas de los suelos.	30
Tabla 3. P valor de algunas variables físicas y químicas en los suelos a través del tiempo de uso de 0 a 20 años bajo monocultivo con frijol voluble relevo maíz	81
Tabla 4. Comportamiento de la producción (kg/ha) grano seco en el suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con frijol.	52
Tabla 5. Matriz de correlaciones múltiples entre las propiedades físicas y químicas	57
Tabla 6. Comunualidades de los componentes principales	59
Tabla 7. Valores propios de la matriz de correlaciones	59
Tabla 8. Matriz de correlación entre variables originales y componentes principales (CP).	60
Tabla 9. Identificación de los suelos que conforman cada uno de los cuatro grupos que constituyen el análisis de clasificación.	62

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización del Municipio de Sibundoy y la consociación San Jorge.	27
Figura 2. Variación de la porosidad total a través del tiempo de uso del suelo bajo el sistema fríjol voluble relevo maíz.	34
Figura 3. Variación macroporosidad, mesoporosidad y microporosidad en el suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con fríjol voluble relevo maíz.	36
Figura 4. Variación de la penetrabilidad en el suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con fríjol voluble relevo maíz.	39
Figura 5. Variación en los contenidos de materia orgánica (%) en el suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con fríjol voluble relevo maíz.	46
Figura 6. Variación de la relación Mg:K del suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con fríjol voluble relevo maíz.	49
Figura 7. Variación de la relación K /Mg del suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con fríjol voluble relevo maíz.	50
Figura 8. Variación de la producción (kg/ha) en el suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con frijol voluble relevo maíz. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 9. Diagrama del aporte de las variables cuantitativas a los dos primeros factores principales	61
Figura 10. Conformación de grupos basados en un análisis jerárquico de las variables cuantitativas, en suelos bajo monocultivo de fríjol voluble relevo maíz y bosque.	62

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Encuesta dirigida a agricultores de productores de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L) con relevo maíz (<i>Zea mays</i>) del municipio de Sibundoy	756
Anexo B. Resistencia a la penetración Mpa	78
Anexo C. Promedio por lote de la resistencia a la penetración en Mpa y humedad gravimétrica (%) al momento del muestreo, en función del tiempo de	79
Anexo D. Clasificación de la conductividad hidráulica	861
Anexo E. Niveles críticos para materia orgánica en los suelos	86
Anexo F. Cálculo del coeficiente de variación para la selección de las variables de mayor peso estadístico.	81
Anexo G. Agrupamiento de los suelos con base en los promedios y desviación estándar de las variables más sobresalientes.	84
Anexo H. Plano Zona de Estudio	85
Anexo I. Coordenadas sitios de muestreo	86

RESUMEN

El manejo de los suelos del municipio de Sibundoy, basan en alto porcentaje la producción en el cultivo de frijol relevo maíz, en la actualidad los estudios que se han realizado en estos suelos son muy pocos, por lo que el conocimiento de las características de las propiedades físicas y químicas que presentan muy poco han evaluado.

La presente investigación, se realizó en la consociación San Jorge ubicada en el municipio de Sibundoy Putumayo. El objetivo principal fue evaluar la influencia del tiempo de uso en un suelo manejado con un sistema de monocultivo de (*Phaseolus vulgaris* L) con relevo maíz (*Zea mays*) sobre algunas propiedades físicas y químicas en un suelo Aerico Tropic Fluvaquents a nueve intervalos de tiempo de uso (bosque secundario, 2, 4, 6, 8, 12, 15, 18, 20 años), además permitió correlacionar algunas variables más sensibles por el manejo del sistema productivo, se realizó un análisis estadístico con el análisis de varianza, y finalmente se realizó un análisis estadístico multivariado (componentes principales y un análisis de conglomerados).

Los análisis de varianza no mostraron diferencias estadísticas significativas para las propiedades físicas evaluadas, se obtuvo que los suelos en un alto porcentaje eran de textura Franco-Arenosos (FA), los valores de porosidad total estuvieron en rangos de 65,3% a 80,4 %, la macroporosidad 15.4%, la mesoporosidad 6.2% y microporosidad 28.4% presentándose una situación totalmente alejada de las relaciones de un suelo normal, la penetrabilidad se incrementó con el tiempo de uso y la profundidad del suelo.

Los resultados de las variables químicas, no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$). Al respecto los rangos para las variables químicas del suelo fueron: pH de 5.23 a 5.68; materia orgánica (MO) de 4.98 a 8.37%; CIC de 18.17 a 26.4 (cmol/Kg-1), fósforo (P) de 18.37 a 59.93 mg/Kg, el calcio (Ca) de 2.24 a 8.75 (cmol/Kg-1); magnesio (Mg) de 0.28 a 1.41 (cmol/Kg-1); potasio (K) de 0.28 a 0.51 (cmol/Kg-1); nitrógeno total (N) de 0.19 a 0.32%; carbono orgánico (C) de 2.89 a 4.85%, relación Ca/Mg de 5.37 a 12.82; Ca/K de 7.29 a 18.52; (Ca+Mg)/K 8.65 a 20.25; Mg/K 0.91 a 2.75; K/Mg de 0.36 a 1.1.

Los resultados evidenciaron que a través del tiempo de uso del suelo bajo monocultivo frijol voluble relevo maíz, las variables físicas y químicas evaluadas no presentan una alteración marcada debido a que el manejo del modelo se realiza sin la utilización de maquinaria agrícola, además la incorporación de materiales orgánicos precursores como la caña de maíz y residuos del cultivo frijol permiten mantener las propiedades.

El análisis de componentes principales permitió establecer que un total de tres factores o componentes explican el 69.5 % de la variabilidad total de la población,

para el primer componente las variables que tienen mayor contribución son materia orgánica (0.715), capacidad de intercambio catiónico (0.760), magnesio de cambio (0.767), nitrógeno total (0.717), carbono orgánico (0.715), identificando al componente como orgánico, es importante tener claro que este componente en el suelo, interviene en los procesos físicos, químicos y biológicos en forma integral.

En el segundo componente, las variables de mayor peso fueron fósforo disponible (0.633), las relaciones Ca:Mg (0.742), Ca:K (0.884), y (Ca+Mg)/K (0.878), Ca de cambio (0.609), con correlaciones positivas y materia orgánica. En el tercer componente sobresalen la macroporosidad (0.647), la relación Mg/K con correlaciones positivas y K/Mg (-0.613), determinando que la producción del modelo está determinado por los nutrientes que los suelos le aportan y la relación que se presente entre ellos.

En términos generales, al evaluar las propiedades físicas y químicas se observó que a través de los diferentes tiempos de uso, las variaciones son pocas debido al manejo del modelo, y a las características de formación de los suelos de la zona de estudio.

Se recomienda continuar con investigaciones que permitan profundizar en aspectos como las correlaciones entre las diferentes propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados, además realizarlas en otros tipos de suelos del Valle de Sibundoy.

Palabras claves: Entisoles, propiedades físicas y químicas de los suelos, multivariado, conglomerados.

SUMMARY

This piece of research was done in San Jorge Consosacion placed in Sibundoy village in Putumayo department. The main purpose was to assess the influence of the time of use in a soil that has been managed with a bean monoculture system (*Phaseolus vulgaris* L) and sometimes with corn (*Zea mays*) over some chemical and physical characteristics in a soil Aeris Tropic Fluvaquents in nine intervals of time use (secondary forest, 2,4,6,8, 12, 15, 18, 20 years). Besides, this piece of research allowed to establish a relationship between some more sensible variables because of the productive system manage. A statistical analysis was also done with the variance analysis, and finally a multivariate statistic analysis was done too. (Main components and a conglomerates analysis)

The physical variables assessed were the gravimetric wet (%), volumetric wet (%), real density (g/cc), apparent density (g/cc), porosity, (%) penetrability, (Mpa), size additives distribution(DPM), additive stability (DPM), pores distribution, texture, color, hydraulic conductivity (cm/h) and the chemistry ones pH, CIC (cmol/ kg⁻¹) organic matter(%), total nitrogen, (%), organic carbon, (%), phosphor available (mg/kg), calcium, magnesium, potassium of change (cmol/ kg-1), and the relationship of the basis Ca/Mg, Ca/K, , Mg/K, K/Mg, (Ca+Mg)/K.

Considering the physical variables the result was that a big percentage of the soils has a sandy loam texture (SL), the total porosity values were between an average from 65.3% to 80,4 %. The macro-porosity 15.4%, the meso-porosity 6.2% and the micro-porosity 28,4% which established a very different situation from the one presented in a normal soil, the penetrability varied from 0.74 to 1.63 Mpa.

The results from the chemical variables do not present statistically significant differences ($P>0.05$). Considering this, the chemical soil variables were: pH from 5.23 to 5.68; organic matter (OM) from 4.98 to 8.37%; CIC from 18.7 to 26.4 (cmol/Kg-1), phosphorus (P) from 18.37 to 59.93 mg/Kg; the calcium (Ca) from 2.24 to 8.75 (cmol/Kg-1); magnesium (Mg) from 0.28 to 1.41(cmol/Kg-1); potassium from 0.28 to 0.51 (cmol/Kg-1); total nitrogen (N) from 0.19 to 0.32%; organic carbon (C) from 2.89 to 4.85%, the relationship Ca/Mg from 5.37 to 12.82; Ca/K from 7.29 to 18.52; (Ca+Mg)/K from 8.65 to 20.25; Mg/K from 0.91 to 2.75; K/Mg from 0.36 to 1.1.

In general terms the result showed that trough the time of use the soil under a bean monoculture voluble exchange with corn, the physical and chemical variables assessed do not present a remarkable alteration.

The averages in the fluctuation production were between 2499 and 3045 kg/ha, increasing in the first eight years of use; after that, it decreases, the average gotten in all the times of use is above the Colombian national average.

The variables that formed the analysis multi-varied and consequently with a bigger relevance in the differentiation of soils for this piece of research were: organic matter, phosphorus available, exchange cationic capacity (ECC), calcium, magnesium and potassium of change, total nitrogen, organic carbon, relationships of basis Ca/Mg, Mg/K, K/Mg, Ca/K, (Ca+Mg)/K, silt (%) loams (%) micro-porosity, macro-porosity, meso-porosity, additives distribution(Shaker). From 24 variables, 19 were taken considering them as a result, as representative in the soils established for planting bean voluble exchange corn in the Sibundoy village through different times of use.

The analysis of the main components allowed to establish that a total of three factors or components explain the 69.5 % of the total variability of the population, for the first component the variables with a more significant contribution are, organic matter (0.767), exchange cationic capacity (0.760), magnesium of change and total nitrogen (0.717), organic carbon (0.715), and micro-porosity, being its correlation positive, and meso-porosity (-0.813), with a negative correlation, identifying the component as organic and its effect in the fertility in the studied soils.

In the second component, the most relevant variable are available phosphorus (0.633), the relationships between Ca:Mg (0.742), Ca:K (0.884), and (Ca+Mg)/K (0.878), CA of change (0.609), with positive correlations and organic matter, in the third component the macro-porosity (0.647), the relationship Mg/K with positive correlations and K/Mg (-0.613) stand out.

INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos es un problema a escala global que limita la producción de alimentos, la competitividad, la seguridad alimentaria, en particular en los países en vías de desarrollo que dependen en gran medida de la agricultura como fuente de alimento y empleo.

En el Valle de Sibundoy, los estudios sobre el componente edáfico son escasos, por tal razón es importante generar espacios de investigación que permitan conocer el estado actual de las propiedades físicas, químicas, y biológicas para establecer criterios claros de manejo en el modelo frijol voluble relevo maíz.

Esta región basa su economía en el sector agropecuario, donde el recurso suelo es fundamental para su producción. El cultivo frijol es un importante renglón, porque para el año 2011 se plantaron 1265,73 hectáreas, de las cuales 589,45 se establecieron en el municipio de Sibundoy, que corresponde a un 46,56 % del total del área sembrada, sin embargo, el cultivo no cuenta con una adecuada asistencia técnica que promueva su manejo agronómico de forma integral.

En este sentido, dada la importancia del suelo como medio fundamental para la actividad agrícola en el municipio de Sibundoy, se realizó una investigación de este recurso en sus componentes físicos y químicos, sometidos a diferentes intervalos de tiempo de uso, en el sistema frijol voluble relevo maíz, en un suelo Aerico Tropic Fluvaquents ubicado en la consociación San Jorge, caracterizados por pendiente plana.

En consecuencia, esta investigación evaluó los procesos generados en el suelo a causa del uso continuo del sistema de manejo sobre algunas propiedades físicas y químicas, como componentes del sistema de producción, para contribuir a mejorar los procesos inherentes a la conservación del recurso edáfico.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir al conocimiento de las propiedades físicas y químicas al evaluar la influencia del tiempo de uso de un sistema de monocultivo de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L) con relevo maíz (*Zea mays*) de los suelos del municipio de Sibundoy Putumayo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar los cambios en un suelo Aerico Tropic Fluvaquents bajo monocultivo de, fríjol sobre algunas propiedades físicas y químicas a nueve intervalos de tiempo de uso.

Correlacionar las variables físicas y químicas más sensibles con la productividad del monocultivo de fríjol por efecto del tiempo de uso.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS BAJO USO INTENSIVO

El manejo sustentable de los recursos naturales es una preocupación mundial, y la producción de alimentos es una necesidad básica fundamental para garantizar la seguridad y soberanía alimentaria de los habitantes en un territorio, para lo cual es de gran importancia el uso racional del suelo y el agua. 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 (Velásquez *et al.*, 2007). Existen reportes a nivel mundial que registran los altos niveles de degradación que actualmente afrontan los suelos, es así como Burbano (2004) en una amplia recopilación de información al respecto, afirma que en el mundo existen 2 millones de kilómetros cuadrados de tierra cultivable que han sufrido una degradación irremediable y de ellos en el trópico los suelos están afectados así: 915 millones de hectáreas por erosión hídrica, 474 millones de hectáreas por erosión eólica, 50 millones por degradación física y 213 millones de hectáreas por degradación química.

En ese sentido Jaramillo (2002), atribuye la degradación de los suelos al uso de este recurso en explotaciones que no están de acuerdo con su aptitud, así como alteraciones graves producidas por el mal manejo. Al respecto Burbano (2004), manifiesta que las causas de la degradación del suelo varían de acuerdo con la región en donde sucede; cita además las siguientes categorías de este fenómeno: los desastres naturales, el crecimiento de la población, la pobreza, la tenencia de la tierra, la inestabilidad política y mala administración pública.

Al respecto Pla (1995), citado por Jaramillo (2002), afirma que la degradación del suelo comprende aquellos procesos que lo conducen a una reducción gradual o acelerada, temporal o permanente de su capacidad productiva e incremento de los costos de producción; además este fenómeno conlleva a la pérdida de uno o varios atributos físicos que el suelo posee y paulatinamente se convierte en acumulativo que no se detecta fácilmente (Ruiz y Legarda, 2000). Al respecto Castillo y Amézquita (2004) manifiestan que el fenómeno degradativo de los suelos se presenta en varios estados sucesivos, esto hace que los agricultores en las primeras etapas no identifiquen los problemas que ella ocasiona, puesto que el rendimiento de los cultivos se mantiene más o menos a buen nivel por la aplicación de fertilizantes, sin embargo, en las etapas posteriores el proceso es

dominado especialmente por la pérdida de suelo conduciendo rápidamente a que vastas regiones de ladera disminuyan su capacidad productiva.

De la misma manera 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. La degradación de las propiedades físicas de los suelos influye de forma directa, obstaculizando el crecimiento de las raíces de las plantas e indirectamente reduciendo el contenido de oxígeno con la consiguiente alteración y modificación de la flora microbiana (Díaz *et al.*, 2009).

Al respecto Amezcuita, (1996), afirma que los principales procesos degradativos se presentan en los suelos de las regiones húmedas tropicales, cuando el bosque natural es intervenido por el hombre y las tierras sometidas a un manejo, utilizando tecnologías modernas no compatibles de acuerdo con su actitud. Los resultados muestran que los procesos degradativos dominantes son la erosión y compactación, los cuales se aceleran notablemente por el uso y manejo de los suelos, causando cambios negativos en las propiedades físicas que tienen que ver con los factores de crecimiento de las plantas. Este comportamiento previene sobre el tipo de uso que se debe dar a esas tierras y sobre las necesidades de desarrollar tecnologías aptas para el manejo de suelos frágiles de fácil degradación para asegurar su sostenibilidad futura.

Es importante conocer que la degradación de los suelos es un proceso que conlleva a un deterioro progresivo de la calidad del suelo. Los sistemas agrícolas han conducido a un deterioro continuo del recurso suelo, en especial, desde el punto de vista químico, lo que se traduce en una pérdida de la productividad agrícola reflejada en menores rendimientos y mayores problemas ambientales. En este sentido, dado las disminuciones de los rendimientos agrícolas, atribuidos a un deterioro en la calidad del suelo, desde el punto de vista químico, producto presumiblemente de los tipos de usos desarrollados, es necesario cuantificar el estado de degradación actual con el fin de proponer el uso integrado de prácticas de manejo conservacionistas para la recuperación de los suelos degradados (Torres *et al.*, 2006).

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.

Bernal *et al.* (2007) evaluaron el efecto de cuatro métodos de labranza sobre las propiedades físicas y la pérdida de suelo en la rotación papa–pastos en áreas de ladera en una región alto andina de Colombia y se concluyó que los métodos de labranza ocasionaron cambios significativos en la densidad aparente, microporosidad y macroporosidad; y altamente significativos sobre estabilidad de agregados. Si bien se reporta que las pérdidas de suelo por escorrentía se relacionan con la interacción de diversos factores como clima, relieve, cobertura vegetal y prácticas de manejo del sistema de cultivo, en el presente estudio tales pérdidas estuvieron condicionadas, esencialmente, por los métodos de labranza.

En los suelos no solo se habla de degradación física, sino que también se presenta una degradación química, biológica y geológica (causas naturales), por la acción humana o la combinación de las dos. La degradación física de los suelos está relacionada con la pérdida de la estructura del suelo, presencia de capas compactadas, aumento de la densidad aparente, disminución de la porosidad total, variación en la distribución de poros y compactación superficial, generalmente relacionadas con factores externos de uso y manejo de suelos (Ribon *et al.*, 2003).

3.2. LOS MONOCULTIVOS Y LA INFLUENCIA SOBRE EL SUELO

Al respecto es importante indicar que la sustentabilidad de los sistemas de producción depende, fundamentalmente, del mantenimiento de la productividad de los suelos a través del desarrollo, la restauración y las condiciones físicas, químicas y biológicas, regulada en gran medida por la capacidad de reciclaje de los recursos orgánicos y las actividades de los microorganismos, que deben ser favorecidas por las acciones de manejo que se realicen (Morell *et al.*, 2010).

Por tal motivo, el modelo de producción que se genere en un determinado ecosistema va a estar implícitamente relacionado con las condiciones de estrés que impone el medio ambiente físico y las demandas socio económicas, particularmente las demográficas, de las comunidades involucradas (López *et al.*, 2005).

Por consiguiente, Amezquita (2003), afirma que algunas de las propiedades más cambiantes con la intensidad y tiempo de uso del suelo son las siguientes: físicas (densidad aparente, densidad real, porosidad, distribución del tamaño de poros, retención de agua, capacidad de almacenamiento de agua, infiltración, conductividad hidráulica, aireación, laborabilidad, penetrabilidad, erodabilidad, agua aprovechable), química (pH, concentración de aluminio, materia orgánica, almacenamiento de nutrientes, bases de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico CIC), y biológicas (pérdida de materia orgánica, masa microbial, cambio de especies).

Sustaita *et al.* (2000) evaluaron el cambio de las propiedades físicas del suelo debido al manejo agrícola y concluyeron que los suelos con vegetación natural tuvieron las condiciones físicas del suelo más favorables, seguido por el sistema de labranza con tracción animal, por lo que se puede considerar que son los tipos de manejo que provocan menos degradación del recurso suelo. Los manejos con mayor intensidad de labranza mostraron mayor inestabilidad estructural y susceptibilidad a la compactación y encostramiento superficial, lo que afectó negativamente los procesos del suelo, tales como infiltración, resistencia a la penetración, aireación y limitó la profundidad de exploración de la raíz.

3.3 DEGRADACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Los suelos degradados resultan de la acción de múltiples procesos que ocasionan la pérdida o disminución de la productividad y afectan sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas. La agricultura conlleva distintos sistemas de manejo que producen cambios físicos de la estructura en particular, mediante la formación de compactaciones y encostramientos. Pero si bien la productividad puede recuperarse en forma parcial con adecuadas estrategias de manejo, la problemática del suelo erosionado es imposible de revertir. La erosión es un proceso físico por el cual la totalidad o partes del suelo son removidas, transportadas y depositadas en otro lugar por la acción de los distintos agentes como agua, viento, hielo o gravedad (Del valle *et al.*, 2010).

La degradación de las propiedades físicas de los suelos influye de forma directa, obstaculizando el crecimiento de las raíces de las plantas e indirectamente reduciendo el contenido de oxígeno con la consiguiente alteración y modificación de la flora microbiana. También la distribución del sistema radical se afecta por las propiedades físicas del suelo, entre las que se destacan la densidad de volumen y porosidad. Ambas propiedades varían con las tecnologías agrícolas y el tiempo de cultivo que inciden sobre el suelo (Díaz *et al.*, 2009).

A continuación se realiza una síntesis de investigaciones realizadas sobre el cambio de algunas propiedades físicas por efecto del manejo de la agricultura convencional.

Es así como Preciado, (1997) manifiesta que el uso permanente de maquinaria agrícola causa degradación de los suelos reflejado en el cambio y efecto de las propiedades físicas como densidad aparente (de 1,06 g/cc para un lote nuevo a 1,54 g/cc), porosidad total (de 62,81 a 42,13 %), volumen de macroporos (de 21,85 % para un lote nuevo a 4,76% para un lote de 20 años de uso), volumen de mesoporos (de 10,35% a 5,62%), distribución y estabilidad de agregados (D50 = 2,87 de estructura masiva), infiltración (de 592,35 mm a 3,64 mm), el estudio mostró que el uso intensivo y la degradación que vienen presentando los suelos de los Llanos Orientales es una respuesta en el daño de la estructura, se

concluyó que los lotes con mayor años de uso van presentando como resultado cambios en la estructura a estado masivo o blocosa comparándola con el lote que nunca había tenido siembras con el cultivo de arroz, el cual presenta tamaños de agregados bien definidos $D_{50} = 1,44$ mm.

Bernal *et al.* (2007) estudiaron el efecto de cuatro métodos de labranza los cuales ocasionaron cambios significativos en la densidad aparente, microporosidad y macroporosidad; y altamente significativos sobre estabilidad de agregados; si bien se reporta que las pérdidas de suelo por escorrentía se relacionan con la interacción de diversos factores como clima, relieve, cobertura vegetal y prácticas de manejo del sistema de cultivo, en el presente estudio tales pérdidas estuvieron condicionadas, esencialmente, por los métodos utilizados; la labranza manual, no obstante haber preservado las propiedades físicas, generado menor erosividad y menor pérdida de suelo, no es el tratamiento más conveniente bajo la rotación papa-pasto kikuyo, porque limita el rendimiento del cultivo, con el tratamiento de labranza mecánica (LM) se obtuvo el mayor rendimiento, no obstante, presentó cambios negativos considerables en las propiedades físicas, así como las mayores pérdidas de suelo. El mejor tratamiento fue el de tracción animal (LTA), porque presentó los menores cambios en las propiedades físicas del suelo, así como menores pérdidas de suelo por escorrentía y la segunda mejor producción entre los cuatro tratamientos efectuados.

De igual forma García *et al.* (2010) afirman que en la actualidad para condiciones de suelos degradados, donde la densidad aparente y resistencia aumentan, la porosidad se reduce y la distribución y tamaño de los poros se altera. Por tales razones, la compactación es un serio problema debido a la interacción entre las propiedades físicas y el crecimiento y productividad de las plantas, lo cual conlleva a la necesidad de disponer de un parámetro que integre las interacciones suelo-planta.

Por tal motivo el empleo de maquinaria agrícola para trabajar suelos con una humedad no adecuada, ocasiona compactación con la formación de “piso de arado y rastrillo y reducción del espacio poroso del suelo. También modifica la densidad aparente y la resistencia del suelo, afectando el desarrollo radicular de las plantas (Pinzón *et al.*, 2002).

Cabe destacar que la estabilidad de agregados es considerada como la variable que mejor refleja los cambios producidos por las prácticas de manejo, los resultados obtenidos evidencian que la morfología y la rugosidad de agregados, también podrían ser incluidos como indicadores físicos de calidad de suelos, sometidos a distintas intensidades de uso (Álvarez, *et al.*, 2008).

Tanto la pérdida de suelo como la distribución de tamaños de agregados en los sedimentos en un evento de erosión dependen del grado en que los agregados se rompen. Los factores involucrados son principalmente el estado de agregación del

suelo y las características del evento erosivo, las fuerzas físicas provenientes de la actividad agrícola favorecieron la destrucción de los agregados menos estables (Cacchiarelli *et al.*, 2008).

Es así que cuando los agregados se secan su volumen disminuye originándose grietas y la subsidencia del suelo, mientras que cuando se humedecen se expanden, cerrándose las grietas y volviendo el suelo a su posición original. Este comportamiento afecta los procesos físicos y químicos de los suelos y por lo tanto su uso agrícola, ya que se modifica su estructura, su infiltración, su aireación, el movimiento en profundidad de nutrientes y agroquímicos, lo mismo que el desarrollo de las raíces (Castiglioni *et al.*, 2005).

Al respecto Soracco *et al.* (2009) afirman que es importante conocer el contenido y la dinámica del agua en el suelo. Esta dinámica se ve afectada por una gran cantidad de factores, siendo de particular relevancia el sistema de labranza utilizado y las cargas a que es sometido el suelo debido al tránsito de máquinas. En los últimos años se ha visto incrementado el peso de la maquinaria agrícola, y su efecto se traduce en la compactación de los suelos, sobre todo ocasionada por el tránsito en condiciones de humedad no adecuadas para ello. Al respecto Rodríguez *et al.* (2008), plantean que la variabilidad del suelo y en especial los contenidos de arcillas, inciden en la variabilidad espacial de la infiltración.

3.4. DEGRADACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Las prácticas de manejo de suelos, cultivos y agua generan cambios directos e indirectos en los suelos agrícolas, los directos ocurren en lapsos relativamente cortos (años o decenios), como resultado de la aplicación de fertilizantes, mejoradores químicos, labranza, manejo de cultivos, entre otros, y se pronostican usando diferentes métodos. Los indirectos no son tan obvios y ocurren debido a cambios microclimáticos que se deben al cambio de la vegetación natural por cultivos agrícolas y al régimen hídrico del suelo (Contreras *et al.*, 2002).

A pesar de que el suelo ocupa un peso importante en la producción agrícola, su productividad se ve afectada por fenómenos degradantes como la salinidad, alcalinidad, mal drenaje; en muchos de los casos, inducida por su propia actividad antrópica que determina, particularidades específicas en el intercambio catiónico de los mismos. Resulta de gran importancia la caracterización y la participación de los “cambiadores” en el intercambio catiónico de los suelos, ya que permite evaluar la degradación y las medidas de mejoramiento (Otero *et al.*, 1998).

3.4.1 Evaluación de algunas propiedades químicas. Causas naturales y antrópicas producen la acidificación de suelos, provocando deficiencias/desequilibrios de nutrientes básicos, particularmente Ca y Mg. El tratamiento del problema requiere de experimentación regional, con el fin de

brindar pautas para la elección del corrector, dosis y forma de aplicación (Vásquez, 2010).

Por lo tanto la acidificación edáfica puede disminuir la disponibilidad de nutrientes, así como afectar cualidades físicas. Vásquez *et al.* (2009) afirman que el tratamiento mediante enmiendas cálcicas/ cálcico-magnésicas, podría mejorar propiedades físicas tanto estacionarias como dinámicas, en consecuencia a cambios de naturaleza química.

Es importante tener en cuenta que una de las propiedades químicas es la capacidad de intercambio catiónico de los suelos (CIC), que según Henriquez *et al.* (2005) depende de las condiciones de su formación y es determinante en la nutrición vegetal. Otro aspecto a tener en cuenta en la evaluación de las propiedades químicas del suelo es su fertilidad, la que se altera por pérdida de nutrientes y materia orgánica del suelo que tiene efectos directos sobre su productividad, aunque ésta puede ser restituida en parte por la fertilización.

En este sentido, el contenido de nutrientes en el suelo depende del reciclado de los mismos al sistema a través de la lluvia, la fertilización y la fijación simbiótica. Como formas de extracción se citan la lixiviación hacia la capa freática, la absorción por cultivos y la erosión, Rodríguez *et al.* (2008) evaluaron las pérdidas de suelo y nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en la zona Andina de Colombia, donde se determinó que la cantidad de suelo perdido tiene relación con el tipo de cubierta vegetal, ya que sin ésta es difícil mantener el contenido de materia orgánica en el suelo e imposible evitar la pérdida de elementos nutritivos.

Es importante tener en cuenta que el mantenimiento de las propiedades químicas adecuadas para el buen desarrollo de los cultivos, tiene en la materia orgánica un hecho incuestionable, además de que su conocimiento detallado en un área de cultivo es fundamental para la toma de decisiones en un proceso productivo en equilibrio con el ambiente (Carvalho, *et al.*, 1999)

Además de lo anterior Burbano (2001) hace mención del gran número de bondades que la materia orgánica le transmite al suelo en sus características físicas, químicas y biológicas, ya sea en estado de descomposición o humificada. Con relación al primer estado, menciona que hay un aporte de sustancias agregantes del suelo que lo vuelven grumoso, con bioestructura estable a la acción de la lluvia; y al encontrarse en estado de humificación algunos de los beneficios son: aumenta la CIC del suelo, aumenta el poder buffer, mejora la estructura del suelo en asocio con hongos y bacterias del suelo aumenta la capacidad de absorción y retención de agua.

3.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS DEL MUNICIPIO DE SIBUNDY Y DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.5.1 Suelos del municipio de Sibundoy. Proviene de rocas ígneas abisales principalmente neis, pórfidos, microdioritas y andesitas.

La zona plana del municipio de Sibundoy, según el estudio geológico preliminar del año 1967 realizado por el Incora determinó que en un alto porcentaje son suelos formados por depósitos aluviales (F3), dentro de estos se pueden distinguir las terrazas, las vegas, los diques naturales y los lechos antiguos. Las terrazas se encuentran parcialmente sepultadas por los abanicos. Los desbordamientos laterales de los ríos principales han depositado materiales cuya granulometría va disminuyendo a partir de las orillas, en forma similar al de los abanicos.

La textura de los suelos aluviales es predominantemente gruesa y en consecuencia su permeabilidad es rápida. En general no presentan, un gran desarrollo de perfil

Un porcentaje menor está formado por suelos orgánicos, los que se originaron por la acumulación de residuos vegetales y animales en el fondo de un antiguo lago, los cuales por haber permanecido saturados de agua, no han llegado a descomponerse. Se caracterizan por una rápida permeabilidad y alta capacidad de retención de humedad. Hacia el perímetro de la zona baja, estos suelos se hallan cubiertos por los abanicos y los suelos aluviales.

Los suelos son generalmente jóvenes y en algunos casos están en procesos de formación. Por esta razón no se encuentran altos contenidos de arcillas, ni existe en general estructuras de suelos desarrollados (Incora, 1967).

El Instituto Agustin Codazzi, (1990), realizó el estudio general de suelos de los cuatro municipios del Valle de Sibundoy, los suelos se clasificaron taxonómicamente hasta el nivel de subgrupo, de acuerdo con el Sistema Taxonómico Americano, realizando un análisis de los mapas de la parte plana del municipio de Sibundoy, los suelos en mayor porcentaje pertenecen a la asociación Chilcayaco y a la consociación San Jorge donde está la mayor área sembrada de frijol en el municipio de Sibundoy y se realizara la investigación, suelos que conforman esta unidad de mapeo se ubican en la parte circundante de la llanura lacustre, en superficies amplias, de relieve plano cóncavo y pendientes menores al 1%. Están desarrollados a partir de sedimentos fluvio lacustres, con drenaje natural pobre.

3.5.2 Suelos de la consociación San Jorge. Está formada por los suelos Aerico Tropic Fluvaquents en un 80% e inclusiones de Fibrist Tropohemists en un 10% y Typic Tropopsamments en un 10%. Los suelos Aerico Tropic Fluvaquents, se caracterizan por ser muy superficiales y pobremente drenados, de color pardo

rojizo oscuro y gris pardusco claro en superficie y pardo grisáceo manchado de pardo fuerte y rojo amarillento en los horizontes inferiores. Las texturas son francas y el pH muy fuerte a fuertemente ácido.

La Consociación está formada por un 90% de suelos entisoles y un 10% de suelos histosoles, (Plan de Ordenamiento y manejo de la cuenca alta del río Putumayo, 2010).

Actualmente los suelos se usan en cultivos de frijol, maíz, potreros con pastos naturales y mejorados también existen parcelas en huertos y chagras.

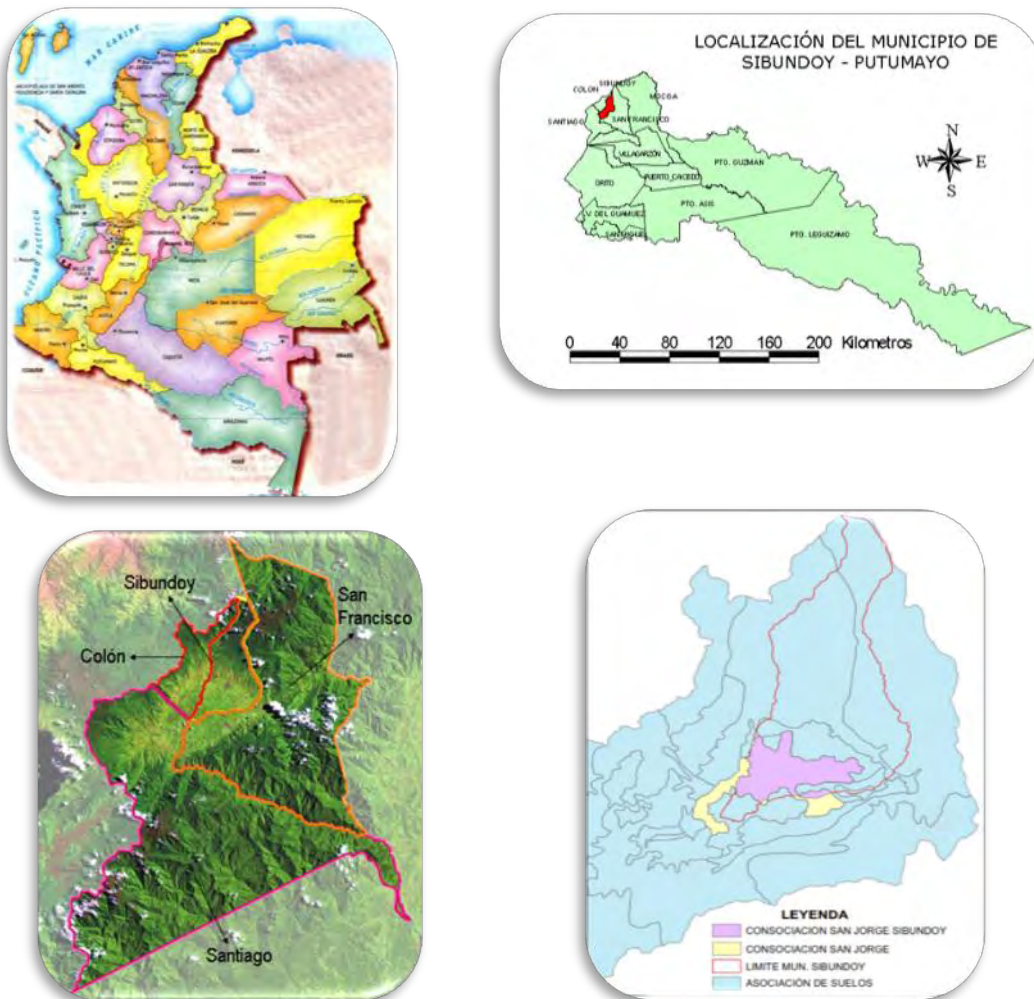
La Consociación San Jorge (SJ), presenta las siguientes condiciones a nivel de fertilidad su pH es casi neutro, con medios a altos niveles de materia orgánica, son suelos livianos con texturas entre arenoso franco a arcillo arenoso, posee altos contenidos de fósforo que puede atribuirse a que se encuentra como fósforo orgánico en proceso de mineralización, la capacidad de intercambio catiónico es alta así como las cantidades de calcio, las cantidades de magnesio son medias, y de medias a altas las cantidades de potasio. Los análisis no registran valores para el aluminio por la presencia de calcio que ayudan a precipitar el aluminio y permiten la liberación de fósforo, entre los micronutrientes los que presentan bajos contenidos son el manganeso (Mn), el cobre (Cu) y el boro (B), que se evidencia con la sintomatología en campo. La relación carbono-nitrógeno es casi óptima por lo que la liberación de nutrientes es permanente y la mineralización sucede adecuadamente, pendientes entre 0 y 3% (Plan de Ordenamiento y manejo de la cuenca alta del río Putumayo, 2010).

4. METODOLÓGIA PROPUESTA

4.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo se realizó en el municipio de Sibundoy con coordenadas geográficas N 01°12'25" - W 76°55'12", De acuerdo con el plan de ordenamiento de la cuenca alta del río Putumayo (2010), la zona plana se encuentra ubicado a una altura de 2100 - 2150 msnm, temperatura promedio mensual anual 16 °C, precipitación anual 1.715 mm, humedad relativa 83 %, pertenece a la zona de vida según la clasificación de Holdridge al Bosque húmedo montano bajo (bh-MB).

Figura 1. Localización del Municipio de Sibundoy y la consociación San Jorge.



Las veredas que incluyen el área de investigación son Las Palmas Altas y Bajas, Sagrado Corazón, Sotanjoy, San Félix, que se ubican en la consociación San Jorge. En la investigación se trabajó exclusivamente sobre los suelos Aerico Tropic

Fluvaquents, dada su importancia en área de explotación y tiempos de uso en la zona. Este suelo se caracteriza por ser muy superficial y pobremente drenado, de color pardo rojizo oscuro y gris pardusco claro en superficie y pardo grisáceo manchado de pardo fuerte y rojo amarillento en los horizontes inferiores, las texturas son francas y el pH muy fuerte a fuertemente ácido.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Para llevar a cabo la investigación fue necesario conocer la tendencia de uso continuo del suelo bajo el monocultivo de frijol con relevo maíz para lo cual se diseñó una encuesta (Anexo A), dirigida a los 50 productores más antiguos y tradicionales de frijol ubicados en suelos pertenecientes a la Consociación San Jorge del municipio de Sibundoy.

Una vez aplicada la encuesta permitió determinar los siguientes aspectos:

1. Los intervalos de tiempo del uso del suelo de manera continua (que era el objetivo central del trabajo); bajo el monocultivo de frijol en relevo con maíz, los cuales están ubicados en suelos con escasa pendiente (1 - 2%), además en cada área encuestada se determinó el historial de producción del cultivo de frijol.
2. Se estableció que el área de estudio para hacer los muestreos en campo fuera una extensión de una hectárea (Ha) por intervalo de tiempo, por ser la de mayor frecuencia en la zona en cuanto a tenencia de la tierra (UAF tradicional de la zona), así se determinaron los intervalos de tiempo de uso del suelo bajo monocultivo de frijol en relevo con maíz los cuales fueron de 0 (zona de bosque sin intervención antrópica), 2, 4, 6, 8, 12, 15, 18, 20 años.

Otros aspectos generales que permitió conocer la encuesta fue la producción por hectárea, algunos aspectos del cultivo como el manejo de la semilla, labranza, encalamiento, manejo de malezas, fertilización.

Una vez seleccionados los lotes y comprobado su homogeneidad en cuanto a pendiente, características y tipo de suelos, de acuerdo a la clasificación del IGAC (1990), se seleccionaron los siguientes tratamientos:

La producción de frijol voluble en forma intensiva y extensiva en el Valle de Sibundoy se inició aproximadamente hace 20 años (corroborado en la encuesta), tiempo que fue tomado en la investigación como intervalo superior de los lotes con explotación continua frijol-maíz, el intervalo cero fue el bosque secundario sin intervención que correspondió al testigo absoluto (T0), en la presente investigación, los tratamientos fueron:

T0. Bosque secundario, ubicado en la zona plana, con tres repeticiones.

T1. Uso de dos años de manejo de monocultivo de frijol con relevo con maíz, con

tres repeticiones.

T2. Uso de cuatro años de manejo de monocultivo de frijol con relevo con maíz, con tres repeticiones.

T3. Uso de seis años de manejo de monocultivo de frijol con relevo con maíz, con tres repeticiones.

T4. Uso de ocho años de manejo de monocultivo de frijol con relevo con maíz, con tres repeticiones.

T5. Uso de doce años de manejo de monocultivo de frijol con relevo con maíz, con tres repeticiones.

T6. Uso de 15 años de manejo de monocultivo de frijol con relevo con maíz, con tres repeticiones

T7. Uso de 18 años de manejo de monocultivo de frijol con relevo con maíz, con tres repeticiones

T8. Uso de 20 años de manejo de monocultivo de frijol con relevo con maíz, con tres repeticiones.

9 tratamientos x 3 repeticiones = 27 unidades experimentales los cuales se incluyen en el plano N° 1 y las coordenadas de ubicación. (Anexo H) y (Anexo I).

4.3 MUESTREO

En cada uno de los lotes se determinaron algunas propiedades físicas y químicas, para lo cual se realizaron muestreos en tres calicatas de 0.40 m x 0.40 m x 0.40 m, tomando muestras a la profundidad efectiva de la raíz en los cultivos de frijol y el maíz que oscilan en los 0.30 m, con tres repeticiones por tratamiento en cada área seleccionada tomando muestras disturbadas y sin disturbar en anillos de acero de 2,5 cm de alto y 5 cm de diámetro.

4.4 VARIABLES EVALUADAS

Para evaluarlas se usaron indicadores de la siguiente manera:

4.4.1 Propiedades físicas. Humedad gravimétrica (%), humedad volumétrica (%), densidad real (g/cc), densidad aparente (g/cc), porosidad (%), distribución de poros, penetrabilidad (Mpa), distribución del tamaño agregados (DPM), estabilidad de agregados (DPM), textura, color, conductividad hidráulica (cm/h)

Las variables evaluadas, su respectivo método de determinación y cálculos se realizaron en los laboratorios de física y química de suelos de la Universidad de Nariño (Tabla 1).

Tabla 1. Variables y técnicas utilizadas para las propiedades físicas de los suelos.

VARIABLES FÍSICAS	MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN	AUTOR
Humedad gravimétrica	Estufa a 105 °C	Forsythe 1972
Humedad volumétrica	(Da / Dag) x H	Forsythe 1972
Densidad real	Picnómetro	Madriñan 2001
Densidad aparente	Núcleo (Cilindro volumen conocido)	Madriñan 2001
Porosidad	$1 - (\text{Den aparente} / \text{Den real}) \times 100$	Forsythe 1972
Penetrabilidad	Penetrómetro	Madriñan 2001
Distribución del tamaño agregados	Tamizado en seco (Shaker) (DMP)	IGAC 2006
Estabilidad de agregados	Yoder (Tamizado en humedo) (DMP)	Yoder
Distribución de poros	Mesa de tensión y membrana se succión	IGAC 2006
Textura	Bouyucous	Bouyucous 1962
Color	Tabla Munsell	Munsell
Conductividad Hidráulica	Permeámetro de carga constante	IGAC 2006

4.4.2 Propiedades Químicas. Las muestras se tomaron a 0.20 m de profundidad en relación con la superficie del suelo, por ser esta la profundidad donde el frijol y maíz tienen más del 80% del sistema radicular, para extraer cada submuestra se utilizó el barreno para facilitar la estandarización de la profundidad y cantidad de suelo. Cada muestra se obtuvo de un total de 40 submuestras tomadas en zig-zag, donde al final se pesó 500 g de suelo para enviar al laboratorio.

Las caracterizaciones químicas se evaluaron siguiendo las variables, métodos de caracterización y referencias propuestas en la tabla 2.

Tabla 2. Variables y técnicas utilizadas para las propiedades químicas de los suelos.

VARIABLES QUÍMICAS	MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN	NTC
pH	Potenciométrico, relación suelo agua 1:1	5262
CIC	Acetato de amonio 1N pH 7. Volumétrico	5268
Materia orgánica	Walkley y Black - Colorimétrico	5403
Nitrógeno - total	Con base en la materia orgánica	
Fósforo - disponible	Bray II y Kurtz - Colorimétrico	5350
Calcio, Magnesio y Potasio de cambio	Acetato de amonio 1N, pH 7. Absorción atómica	5349
Aluminio de cambio	Cloruro de potasio 1 N	5263
Carbono orgánico	Walkley y Black colorimétrico	5403
Relación de bases	Ca:Mg, Mg:K, K:Mg, Ca:K, (Ca+Mg)/K	

4.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para la discusión de los resultados, se realizó un análisis estadístico con el análisis de varianza, un multivariado (componentes principales y un análisis de conglomerados), que permitió establecer los principales factores y el porcentaje de participación que tienen cada una de las variables evaluadas, facilitando realizar las respectivas correlaciones más pertinentes dentro de las variables físicas, químicas, procurando determinar las variables más sensibles a los cambios en los tiempos de uso del suelo que sirva de indicador de la situación actual de los suelos evaluados.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo se divide en dos partes: el primero de ellos reúne la información discutida a través del análisis de varianza, y en el segundo se hace una discusión según el análisis estadístico multivariado (componentes principales y un análisis de conglomerados), con las variables de mayor peso estadístico.

A continuación se presenta los resultados de las propiedades físicas y químicas que se evaluaron en suelo en la zona de muestreo.

Tabla 3. P valor de algunas variables físicas y químicas en los suelos a través del tiempo de uso de 0 a 20 años bajo monocultivo con frijol voluble relevo maíz.

Variables	Valor – P
Textura	
Arenas (A)	0,6507
Limos (L)	0,5013
Arcillas (Ar)	0,3673
Densidad aparente (Da)	0,4801
Densidad real (Dr)	0,3812
Porosidad (%)	0,1151
Distribución de agregados (DMP)	0,5807
Estabilidad de agregados (DMP)	0,3937
Humedad gravimétrica (%)	0,7993
Ph	0,4473
Materia orgánica (%)	0,1596
Fósforo (mg/kg)	0,3544
CIC (cmol/ kg ⁻¹)	0,2064
Calcio (cmol/ kg-1)	0,5505
Magnesio (cmol/ kg-1)	0,0757
Potasio (cmol/kg-1)	0,8289
Nitrógeno (%)	0,1516
Carbono (%)	0,1615
Relación Ca: Mg	0,8288
Relación Mg:K	0,0027**
Relación K:Mg	0,0227**
Relación Ca: K	0,8519
Relación (Ca + Mg) / K	0,7795
Producción	0,3528

5.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

El manejo del sistema de producción fríjol voluble relevo maíz, a través de los diferentes tiempos de uso, no se observó diferencias significativas ($P > 0.05$) para todas las variables evaluadas, esto posiblemente por efectos de las características específicas de los suelos estudiados, el manejo dado por los productores al cultivo que no incluye labranza mecanizada, la rotación de una leguminosa y una gramínea, por tal motivo se realizó un análisis general de algunas de ellas, tomando como base los resultados obtenidos en el laboratorio y en campo.

Color

Lo anterior, permitió afirmar que las tonalidades en húmedo variaron de color pardo amarillo a pardo muy oscuro, concordando con el tipo de suelos en los que se trabajó de acuerdo a especificaciones del IGAC (1990), de los cuales es el color 10YR3/3 (pardo oscuro) el que domina en las muestras en este estado (37,04%), con 10 muestras, seguida por el color 10YR4/4 (pardo amarillo oscuro) con cinco muestras (18,52%), el color 7,5YR3/2 (pardo rojizo oscuro) de 6 muestras (22,22%) y tres muestras de color 10YR2.5/2 (pardo muy oscuro), (11,11%), dos 10YR5/4 pardo amarillo (7,41%) y una muestra (3,70%) de los colores 5YR3/4, 5YR3/3, (pardo rojizo oscuro).

El color predominante en estado seco fue 10YR5/3 (pardo) (33,33%) seguido por 10YR6/4 (pardo amarillo claro) (22,22%) y 10YR6/6 (amarillo pardo) (18,52%), 10YR6/3 (pardo pálido) (14,81%). El color 10YR5/4 (pardo amarillo), 10YR3/4 (pardo amarillo oscuro) (3,7%) fue el que se encontró en menor proporción.

Al respecto 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.

Textura

Los análisis indican que la textura más representativa fue la franco arenosa (FA), presentando los mayores porcentajes de arenas que oscilaron entre (60,5% - 78,5%), seguido de los limos con valores entre (11,5% - 22,7%), finalmente las arcillas (7,7% - 22%). Estos resultados concuerdan con IGAC 1990, en estudios realizados en el Valle de Sibundoy, esta 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 facilidad de infiltración, peligro de lavado de elementos nutrientes, aireación media a alta, intercambio gaseoso rápido y retención de humedad baja; consideraciones válidas sólo cuando el suelo presenta contenidos bajos de materia orgánica, de tal forma

se puede asumir que esta fracción mineral, en las condiciones evaluadas correspondiente a los suelos con uso continuo con frijol relevo maíz.

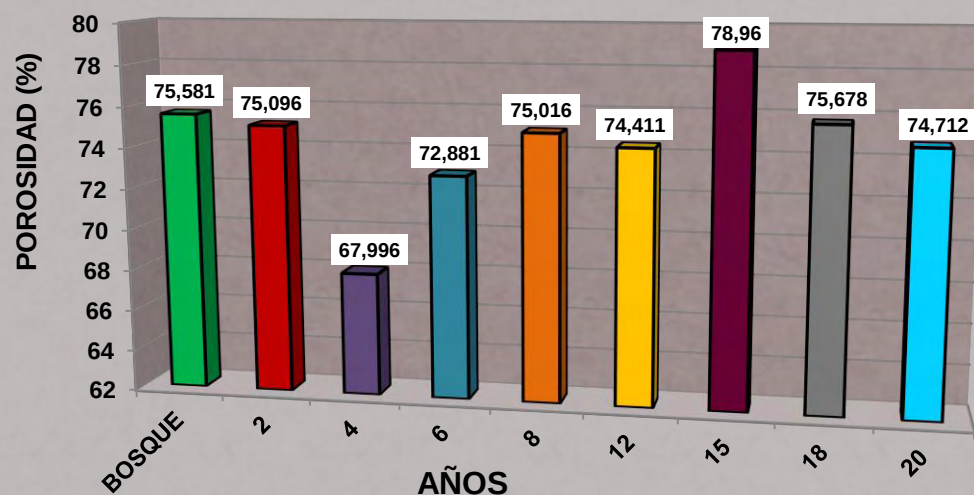
Densidades

Los valores de densidad aparente (D_a) encontrados oscilaron entre (0,504 a 0,632 g/cc), la D_a media fue 0.58 g/cc lo que obedece a que a pesar de las labores agrícolas pueden afectarla, existen otros factores que la determinan como el origen del suelo, especialmente referidos a sus materiales (orgánicos, piroclásticos, arcillosos), la textura, contenidos de materiales orgánicos (Unigarro y Carreño, 2005); mientras que la densidad real (D_r) osciló entre 2.2 a 2.5 g/cc, situación considerada normal ya que de acuerdo con lo expresado por Henríquez y Cabacelta (1999), esta propiedad presenta una baja variabilidad con relación a la densidad aparente, en este sentido Coral *et al.*, 2003 citado por Burbano, *et al.*, 2005, afirma que la densidad real depende de la mineralogía de los suelos y del contenido de materia orgánica, Jaramillo (2004) y 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 en el suelo.

Porosidad

Las fluctuaciones de porosidad para todos los tiempos estuvieron en rangos de 80,4 % a 65,3 %, con un promedio general de 74,5 %, (Figura 2). Los valores están relacionados con los contenidos de materia orgánica (Tapia y Rivera, 2010); Soriano y Pons (2004), coinciden en que la porosidad se relaciona directamente con la retención y movimiento del agua en el perfil del suelo. Es una propiedad física esencial ya que la aireación y transporte de oxígeno al sistema radicular de las plantas garantizan la facilidad con que las raíces pueden anclar y sostenerse en el suelo y permitir así la rápida absorción de nutrientes de la solución del suelo.

Figura 2. Variación de la porosidad total a través del tiempo de uso del suelo bajo el sistema frijol voluble relevo maíz.



Distribución de poros

El valor más elevado en el porcentaje de macroporos (Figura 3), se presentó en el tratamiento con 8 años consecutivos con cultivo de frijol relevo maíz (17.6%) el cual no mostró que hay variación con los tratamientos restantes y el más bajo fue en los bosques con un promedio (14.2%). También se encontró que en lo relacionado a mesoporosidad la variación más alta fue para los lotes con 8 años (10.9%) y con diferencias estadísticas significativas con los bosques cuyo valor fue el más bajo (1.2%). Con relación a los microporos los resultados más altos se obtuvieron en el tratamiento de bosque (34.8%), no encontrándose diferencias estadísticas significativas con los otros tratamientos.

Investigaciones realizadas por Amézquita (2003), establecen que en un suelo se debe mantener entre un 10–15% de macroporos, 20-25% de mesoporos y un 10–15% de microporos en los primeros 25 cm de profundidad; si se comparan éstos valores con los obtenidos en ésta investigación, se presentó una situación totalmente alejada de estas relaciones, en donde el porcentaje de microporos dominó en todos los tratamientos con un promedio general de 28.43% en los suelos bajo uso consecutivo con frijol, incluido el testigo.

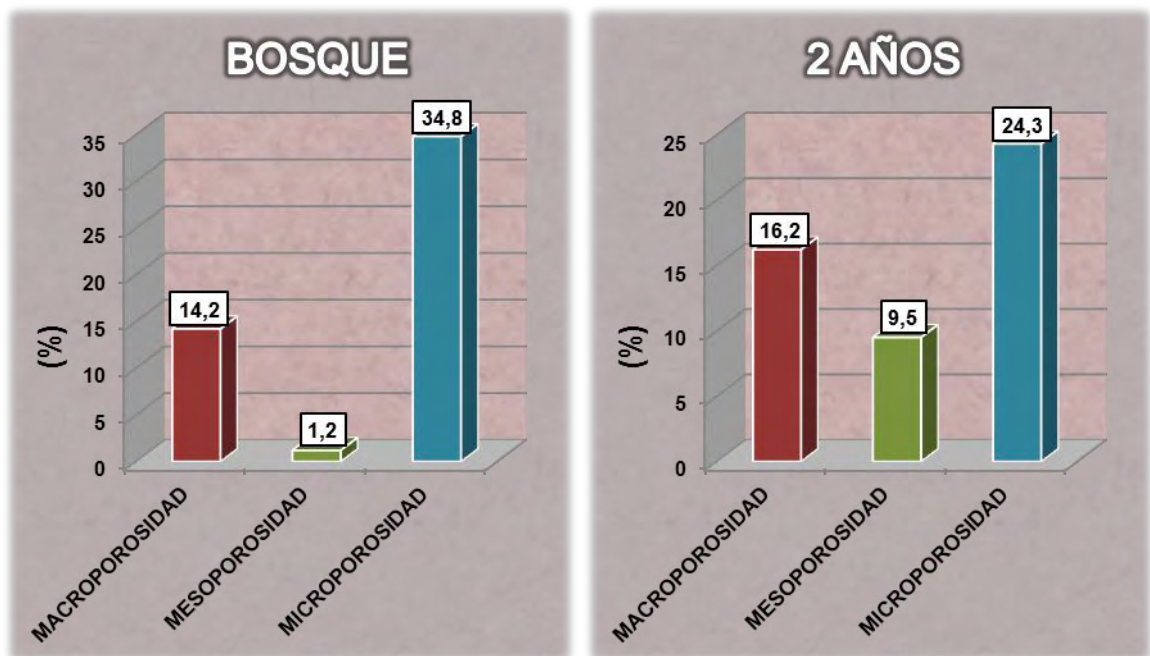
Un comportamiento similar encontró Galvis (2005), al evaluar la distribución de poros en suelos oxisoles bajo diferentes sistemas de manejo de en el municipio de Puerto López, departamento del Meta, encontrando un predominio en el porcentaje de microporos, especialmente en aquellos suelos intervenidos con

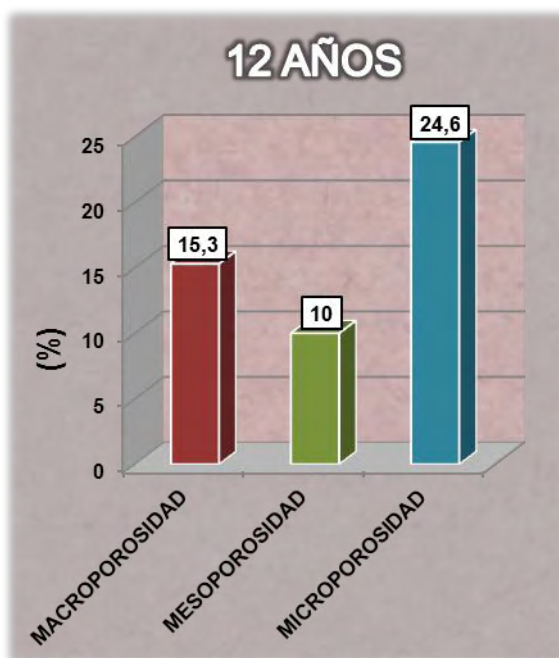
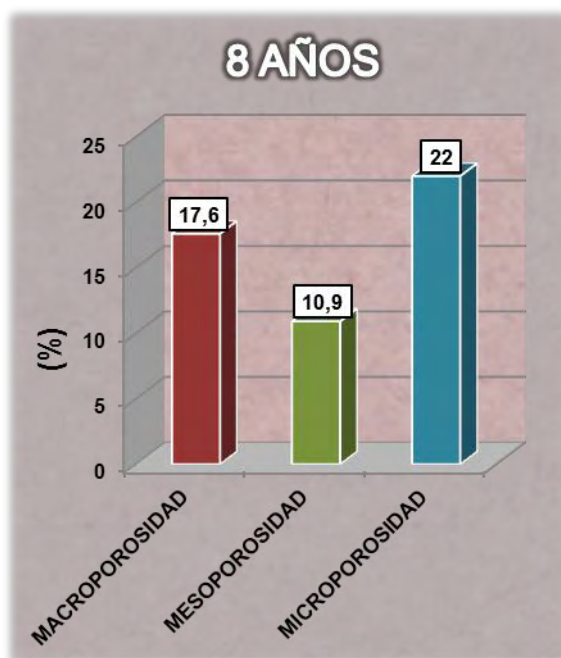
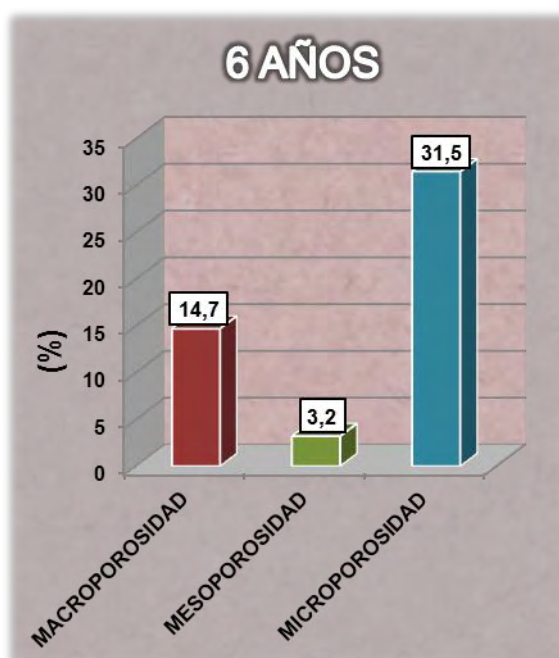
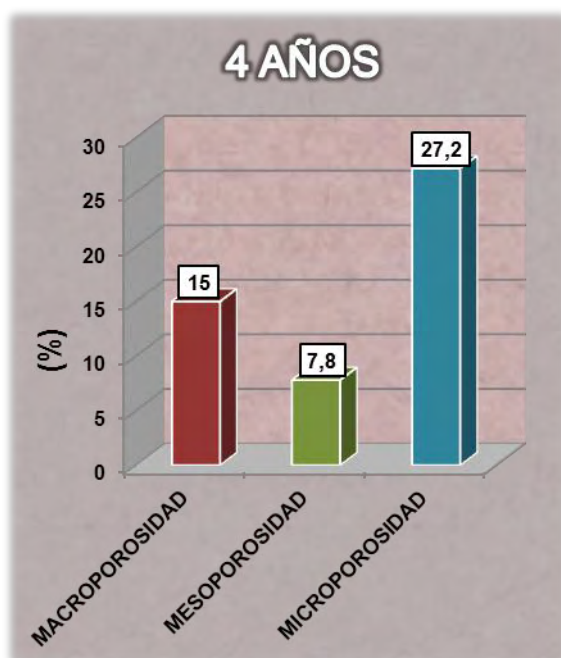
algún tipo de actividad agrícola; mientras que en aquellos suelos provenientes de sabana nativa y bosque, el predominio fue de los macroporos.

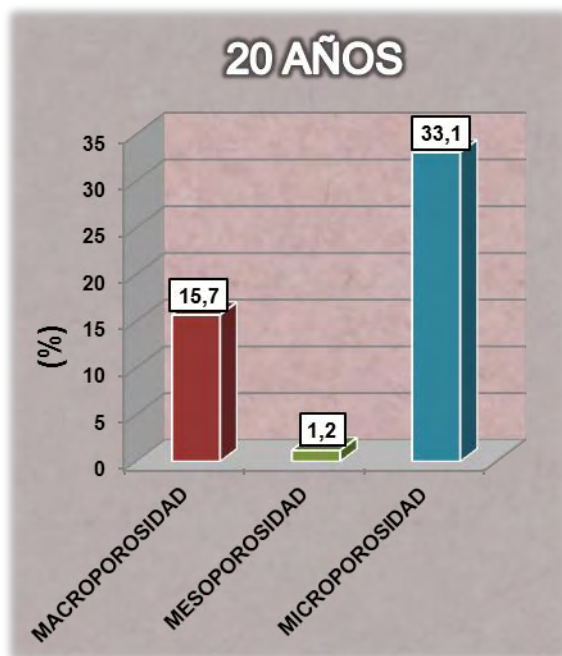
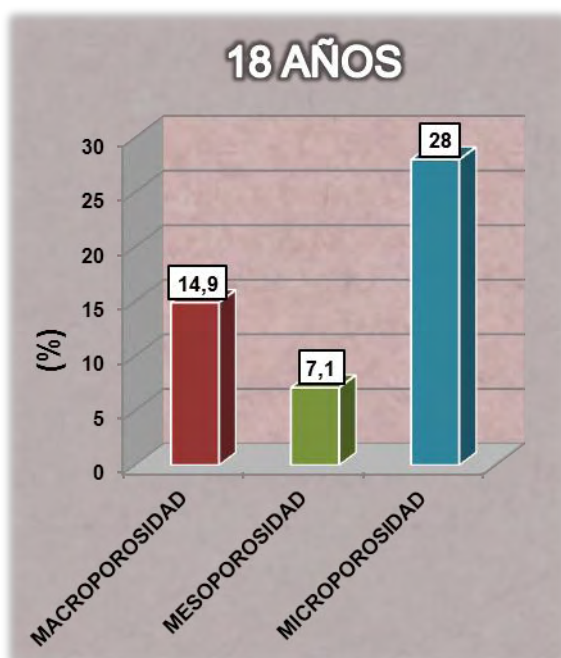
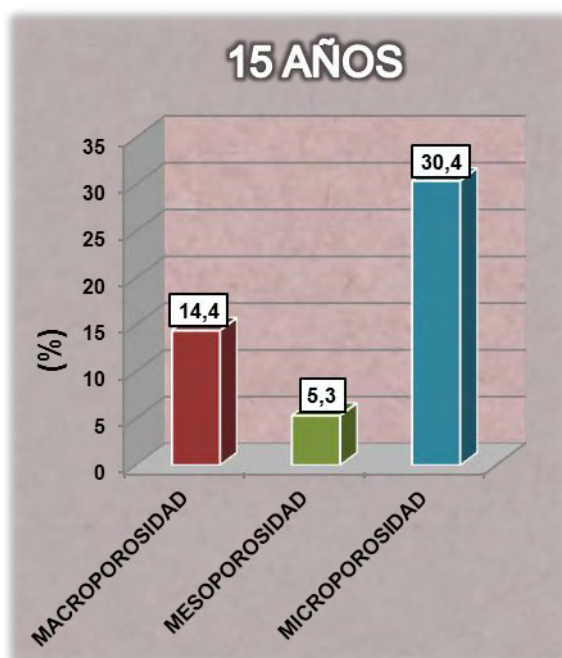
Los resultados encontrados permiten afirmar que el bajo porcentaje de mesoporos le significa al suelo una baja capacidad de estos para almacenar agua aprovechable para las plantas y que el predominio de los microporos para todos los tratamientos evaluados bajo monocultivo con fríjol relevo maíz con promedio general de 6.24%, se convierten en una característica limitante para estos suelos ya que se limita la disponibilidad de agua para el cultivo, puede generar procesos de deficiencia de nitrógeno, calcio, magnesio, azufre que se mueven por procesos de flujo de masas realizados en los mesoporos. Por tal razón, conviene en considerar la opción de adoptar un tipo de labranza que ayude a modificar tal situación.

Al respecto, Amèzquita (1994) manifiesta que existe una relación estrecha entre los procesos de absorción de nutrientes que se encuentran en el suelo, los cuales pueden ser absorbidos por interceptación de las raíces, flujo de masas y difusión y la distribución del tamaño de poros, la interceptación ocurre fundamentalmente por macroporos, el flujo de masa por mesoporos y la difusión por los microporos (Figura 3).

Figura 3. Variación macroporosidad, mesoporosidad y microporosidad en el suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con fríjol voluble relevo maíz.





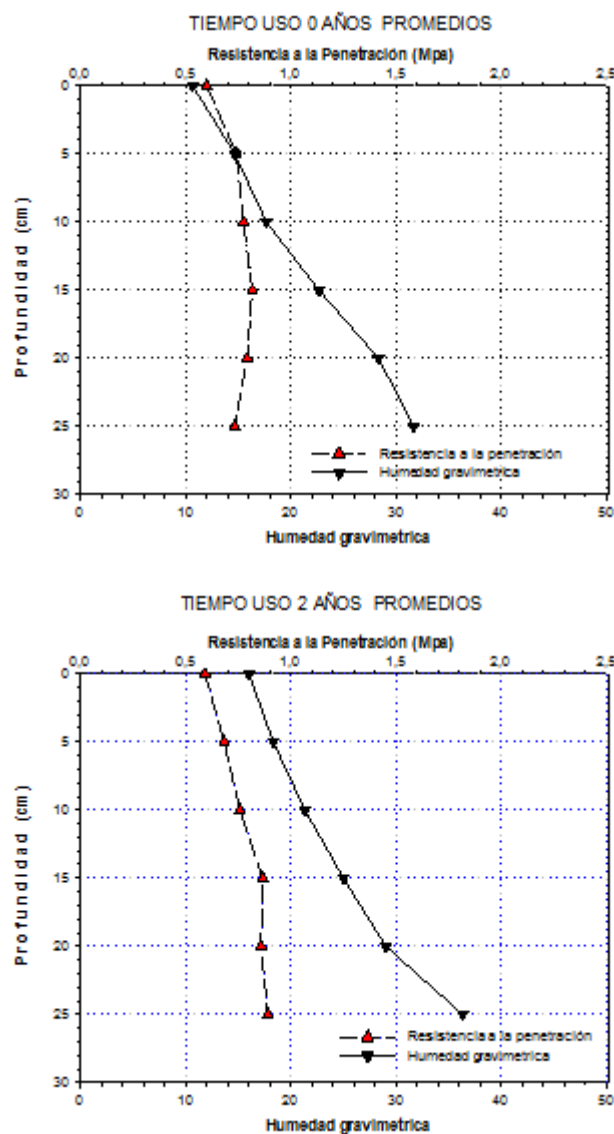


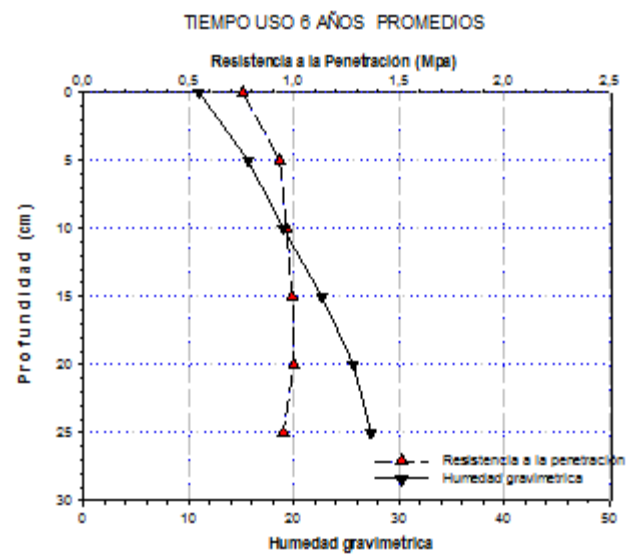
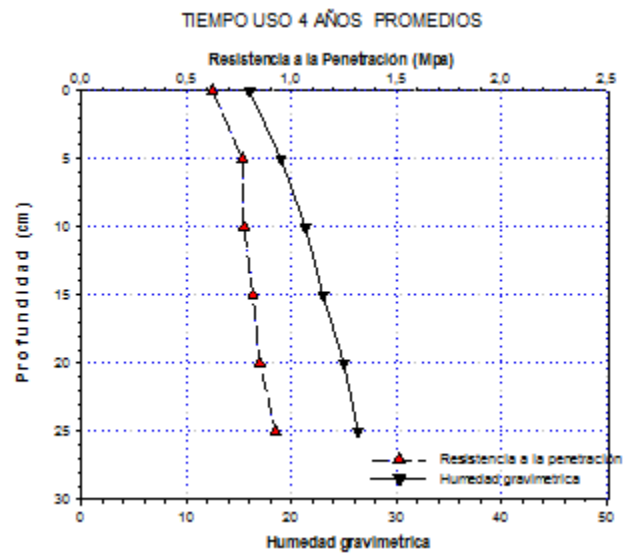
Resistencia a la penetración

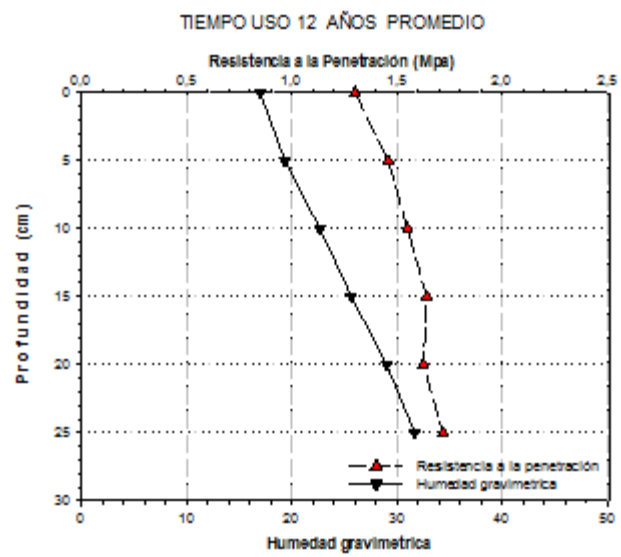
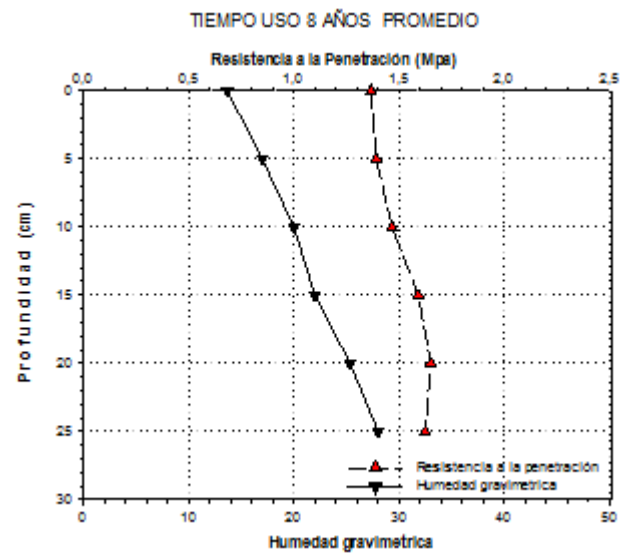
En el Anexo B, se indican los valores para interpretar la resistencia a la penetración.

Los resultados de la resistencia a la penetración, en los diferentes lotes en monocultivo de fríjol relevo maíz, permitieron concluir que existe entre baja a alta penetrabilidad, en los primeros 5 cm, tal como se puede apreciar en la Figura 4

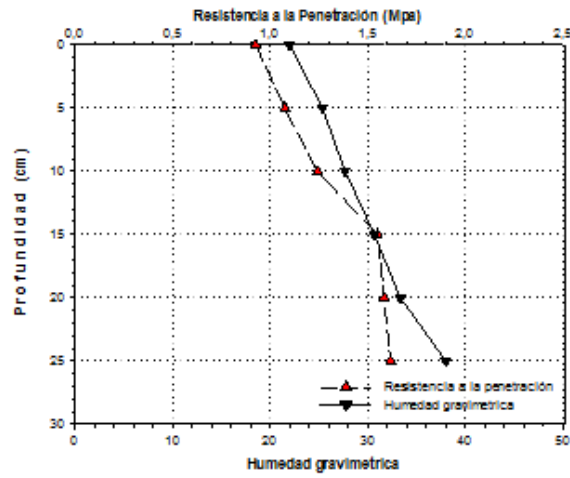
Figura 4. Variación de la penetrabilidad en el suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con fríjol voluble relevo maíz.



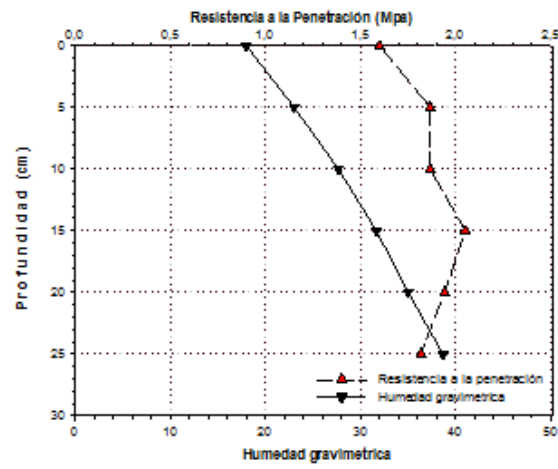




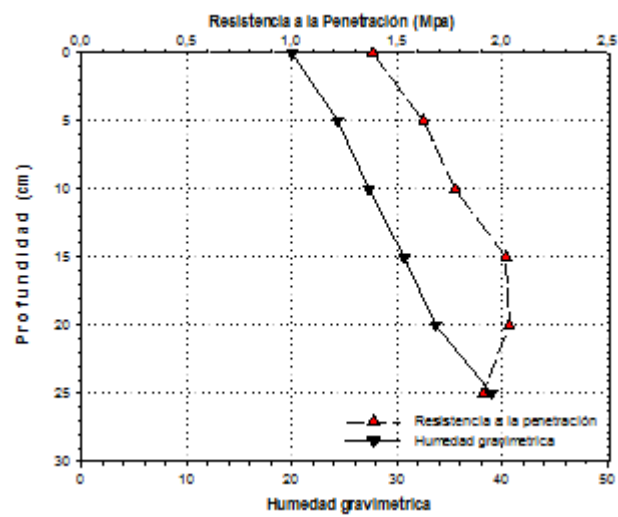
TIEMPO USO 15 AÑOS PROMEDIOS



TIEMPO USO 18 AÑOS PROMEDIOS



TIEMPO USO 20 AÑOS PROMEDIOS



La figura 4, muestra claramente el efecto del manejo del suelo. En el bosque natural los valores de resistencia a la penetración en los primeros 5 cm fueron (0,74 Mpa) y a medida que pasa el tiempo de uso esta se va incrementando hasta un valor de 1.63 Mpa a los 20 años, correspondiendo a una resistencia alta, el porcentaje de humedad varió entre 14,7 a 24.3 %, lo que permite pensar que hay buena cantidad de humedad. Estos resultados, están relacionados como lo afirma Jaramillo (2001) con el contenido de materia orgánica, la densidad aparente, la permeabilidad (conductividad hidráulica saturada), el contenido de arena, arcilla y limos.

El Anexo C, y la figura 4 muestran los resultados promedio de los diferentes tiempos de uso, que a medida que se profundiza en el perfil del suelo la resistencia a la penetración se ve incrementando en los primeros 25 cm.

De igual forma se detectó que a partir de los 10 cm de profundidad, hay problemas de alta resistencia mecánica del suelo a la penetración, especialmente para los lotes correspondientes a suelos con 12, 15, 18 y 20 años consecutivos, cuya resistencia a la penetración oscila entre 1.6 y 1.9 MPa, ya que de acuerdo con lo expresado por Amézquita (1998) citado por Báez, *et.al.*, (2003), el nivel crítico de resistencia mecánica del suelo corresponde a 1,5 Mpa, valor por encima del cual hay dificultad para que las raíces puedan penetrar sin obstáculos en el suelo.

Al respecto, Lal (1994), manifiesta que a valores entre 1.5 y 2.0 Mpa existe una limitación moderada en el suelo y entre 2,0 y 2.5 Mpa la limitación es severa.

A medida que se profundiza en el perfil del suelo y se avanza en el tiempo de uso de los lotes bajo monocultivo, la resistencia mecánica a la penetración es mayor, igual que la humedad, llegando a oscilar de los 5 a 25 cm de profundidad del perfil en 0.68 a 0.89 MPa, (16 a 36 % H) del tratamiento correspondiente a 2 años bajo monocultivo; en los bosques que oscilaron entre 0.74 a 0.83 Mpa (10.7 a 31.7 %H) estimándose como valores de baja resistencia a la penetrabilidad, este mismo comportamiento se manifiesta además en los lotes de 8 años (1.39 a 1.63 Mpa), (13.7 a 28 %H), 12 años (1.46 a 1.72 Mpa), (17 a 31.7%), 15 años (1.08 a 1.62 Mpa) (22 a 38 % H) 20 (1.63 a 1.91Mpa), (20 a 39 % H) valores que indican una media a alta resistencia a la penetrabilidad tal como lo muestra las gráficas 7.

De acuerdo con Ruíz (1999); Lal (1994) consideran que con una resistencia a la penetración que oscile entre 0.5 a 1 Mpa las limitaciones son bajas, 1.0 a 2.0 MPa, fluctúa entre una media y alta limitación para el desarrollo radicular; de tal forma que se podría afirmar que el cultivo de frijol relevo maíz, se está desarrollando bajo condiciones de penetrabilidad aceptables que fluctúan entre baja, media y alta limitación que se incrementan a mayor tiempo de uso, donde la condición de monocultivo ha llevado a disminuir la calidad del suelo por la falta de rotación de cultivos que promueven no solo una remoción natural de nutrientes, al presentarse un diferente sistema radical que promueva una exploración de área

diferente en el perfil del suelo, sino que también le significa un aporte diferente de materia orgánica que favorecería la diversidad biótica del suelo.

Resultados similares, fueron encontrados por Obando (2000), Mora *et al.*, (2001), Alvarez *et al.*, (2009), quienes reportan que en el manejo de agricultura convencional mostró una mayor resistencia a la penetración, y sus valores se relacionan con el tipo de manejo dado a los suelos y que en los bosque se presentan los menores valores.

Distribución de agregados

En cuanto a esta propiedad, se pudo determinar que el DMP fluctuó entre 1.3 a 2.4 mm, representando que los agregados son moderadamente estables al encontrarse en rangos entre 1.5 – 3.0 mm, como lo afirma IGAC (1990), esta respuesta posiblemente se debe a que en el manejo de labranza del cultivo se realiza con azadón y la utilización de maquinaria pesada es nula en todos los lotes evaluados a través de los años, además la aplicación frecuente en todos los ciclos del cultivo de materia orgánica, la incorporación en las calles de los residuos de la caña de maíz y frijón, mejoran la agregación del suelo.

Estabilidad de agregados

Los suelos de la investigación fueron moderadamente estables, ya que el diámetro medio ponderado (DMP), osciló entre 2.0 a 2.4 mm, el hecho de la no alteración de esta propiedad a través del tiempo de uso del suelo, guarda una estrecha relación con la porosidad, ya que de acuerdo a lo expresado por Cairo y Fundora (1994), si la porosidad disminuye con el tiempo, resulta que hay alteración de la estructura del suelo, pero si la variación de la porosidad es poca, muestra que no hay alteración notable de la estructura y esta se mantiene a pesar de las inclemencias climáticas, laboreo de los suelos, situación concordante con lo encontrado en esta investigación.

Conductividad hidráulica (K)

Al tomar los rangos de clasificación propuestos por el IGAC (1990), en todos los tratamientos que constituyeron la investigación, se la calificó en un alto porcentaje (77,8 %) en lenta, el 11,11 % es moderadamente lenta, y el 11,11% muy lenta. ya que se encuentra entre < 0.1 y 1.6 cm/hora. Anexo D.

Por lo anterior se concluye que los niveles obtenidos de conductividad hidráulica oscilaron entre muy lentos, lentos y moderadamente lentos por cuanto no se observó que hay variación entre la mayoría de ellos, es así que los suelos con uso continuo bajo monocultivo con frijol relevo maíz, cuyo comportamiento obedece a razones de formación de los suelos y el alto nivel freático presente en la zona de estudio, al respecto Legarda *et al.*, (2002), afirman que los valores de conductividad hidráulica expresan la habilidad del suelo saturado de permitir el paso del agua, esta al evaluarse en las capas superiores del suelo es el parámetro más importante del mismo en los problemas de drenaje, está influenciada por el tamaño y forma de los espacios porosos a través de los cuales el agua se mueve.

5.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

A continuación, se presenta los resultados de las propiedades químicas (pH, MO, P, CIC, Ca, Mg, K, N, C) y las relaciones de bases del suelo por tiempo de uso en el monocultivo de frijol relevo maíz.

Los cultivos de frijol y maíz, se desarrollaron en condiciones de media a alta fertilidad, con presencia de lluvias los resultados globales de esta investigación en los diferentes tiempos de uso, determino que no hay variación ($P > 0.05$) para las variables pH, Materia Orgánica (MO), Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca) y Capacidad de Intercambio catiónico (CIC), Nitrógeno (N), Carbono orgánico (Tabla 3).

pH

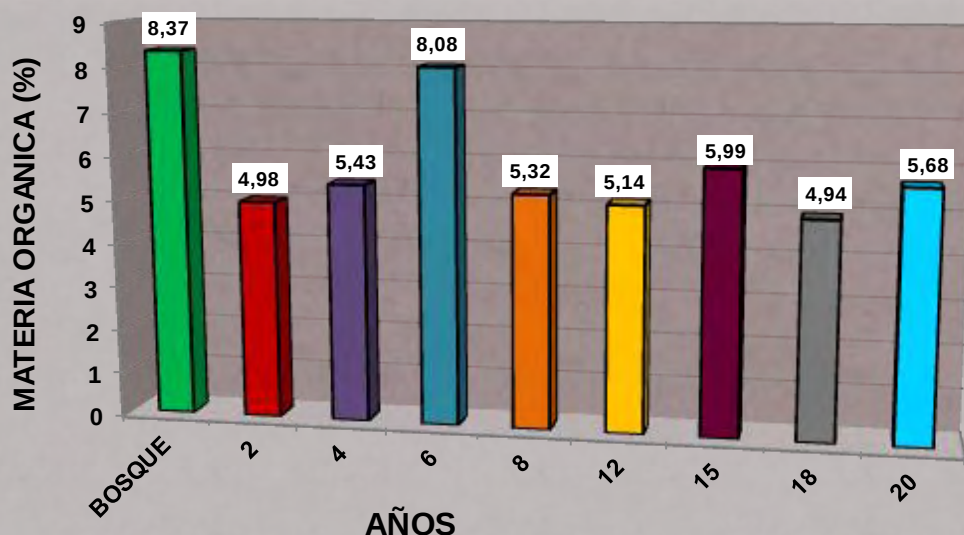
Si se considera la clasificación del pH de los suelos según Salamanca (1985), los suelos pertenecientes a los diferentes tratamientos de tiempo de uso, 0, 2, 4, 6, 8, 18 y 20 años se determinaron como fuertemente ácidos por estar entre los rangos de 5.1 a 5.5 y los suelos de 12 y 15 se califican como moderadamente ácidos, cuyos rangos están entre 5.6 a 6.

De acuerdo al estudio realizado por el IGAC (1990), donde se afirma que los suelos del área de estudio presentan pH por debajo de 5.5. En la zona de estudio se presenta altas precipitaciones que probablemente son la causa de un lavado permanente de los suelos y por consiguiente la pérdida considerable de cationes tales como el calcio, magnesio y potasio, al respecto el Plan de ordenación y manejo de la cuenca alta del río Putumayo (PONCA) (2010), los valores de pH encontrados en suelos de la consociación San Jorge donde se ubican las fincas que se evaluaron, están entre muy fuerte a fuertemente ácido, manteniendo una tendencia general con relación a los suelos del resto del país, situación que se corrobora con lo encontrado en esta investigación.

Materia orgánica del suelo. El análisis de varianza (Tabla 3) para esta propiedad, resultó no significativo ($P>0.05$), entre los diferentes tratamientos.

Los contenidos oscilaron entre 4.98% a 8.37%, en donde es el testigo el tratamiento que presentó el mayor contenido con 8.37% seguido por el tiempo de uso de 6 años con él se observa que hay variación con los 2, 8, 12, 18, años de uso (Figura 5). Lo anterior demuestra que aunque el cultivo de maíz hace un aporte significativo de materiales precursores para formar materia orgánica, estos difícilmente se mineralizan por la alta humedad que presentan los suelos, limitando así el aporte de nutrientes y los demás efectos positivos que tiene la materia orgánica en los suelos

Figura 5. Contenidos de materia orgánica (%) en el suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con frijol voluble relevo maíz.



Sin embargo, estos contenidos de materia orgánica le otorgan a los suelos una apreciación de un nivel de bajo hasta medio, ya que de acuerdo a la calificación propuesta por Castro y Gómez (2013) Anexo E, califican a los suelos de clima frío con bajo contenido de materia orgánica, aquellos cuyo nivel sea menor al 5% y un nivel medio de 5% hasta el 10%.

Similares resultados se encontraron en el Plan de ordenamiento de la cuenca alta del río Putumayo (2010), quienes al hacer una evaluación del contenido de

materia orgánica en suelos de la consociación San Jorge presentan niveles de bajos a medios de materia orgánica.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se obtuvieron promedios similares se encontró que los valores fluctuaron entre 18.17 a 26.4 cmol (+) Kg⁻¹. De acuerdo con Castro y Gómez (2013), se puede afirmar que en general los suelos evaluados presentaron una capacidad de intercambio catiónico de media a alta, posiblemente debido a la cantidad de materia orgánica presente, ya que estas dos variables están altamente correlacionadas. Frente a esto, Gavilán (2004) sostiene que los materiales orgánicos presentan una elevada capacidad de intercambio catiónico y por tanto, una alta capacidad tampón frente a cambios rápidos en la disponibilidad de nutrientes y en el pH. En consecuencia, la CIC constituye un depósito de reservas para los nutrientes, lo cual favoreció el comportamiento productivo del cultivo de frijol relevo maíz.

Los nutrientes P, Ca, Mg, K no presentaron diferencias estadísticas significativas para los diferentes tiempos de uso ($P > 0.05$) (Tabla 3).

Fósforo

Los valores encontrados variaron entre 18.37 y 59.93 mg/kg, estos contenidos le otorgan a los suelo una apreciación de niveles que oscilan entre bajos, medios y altos, de acuerdo a la calificación propuesta por Castro y Gómez (2013).

Calcio

Los resultados medios fueron altos para el testigo bosque, los 12 y 15 años de tiempo de uso con el monocultivo, con 8.75, 6.43, y 6.17 cmol+/ Kg⁻¹ respectivamente, y los valores más bajos para los tratamientos de 8 y 4 años con valores 2.24 y 2.81 cmol+/Kg⁻¹. De lo anterior se determinó que el contenido de calcio en los suelos evaluados en mayor porcentaje (77.8%) fue de medios a altos por lo que según Barber (1995) su contenido depende del material de origen, el grado de meteorización y la aplicación de enmiendas.

Magnesio

Los valores fluctuaron de la siguiente manera el tratamiento con mayor contenido se presentó en el bosque con un valor 1.41 cmol+/Kg-1 que es un valor medio, se presentan niveles bajos en los tiempos de uso de 6, 12 y 15 años con valores de 0.62, 0.65, 0.58 cmol+/Kg-1, y niveles muy bajos para los tratamientos 2, 4, 8, 18 y 20 años con 0.39, 0.28, 0.42, 0.33, 0.4 cmol+/Kg-1, respectivamente, por tal

razón son considerados en un alto porcentajes 88.9% como bajos y muy bajos, generando baja disponibilidad de magnesio para la planta, debido a la alta lixiviación que se presenta por las precipitaciones de la zona.

Potasio

La cantidad media de K, se pudo observar que los valores más altos fueron en el bosque $0.51 \text{ cmol}^+/\text{Kg}^{-1}$, y los más bajos $0.28 \text{ cmol}^+/\text{Kg}^{-1}$, al respecto, Lora (1994) manifiesta que en suelos ácidos como lo son los estudiados, en muchos casos han sido lixiviados por las altas precipitaciones de la zona, presentan una baja saturación de bases. Es de esperar que en suelos ácidos altamente interperizados contengan bajas cantidades de este elemento.

Nitrógeno

Los valores promedios de este nutriente; oscilaron entre 0.32 % para el bosque y 0.19 % para el tiempo de uso de 2 y 18 años, estos contenidos de nitrógeno, le otorgan al suelo una apreciación de un nivel entre medio y bajo, ya que de acuerdo a la calificación propuesta por Gómez (2005), califica a los suelos de clima frío con contenido bajos de nitrógeno, a aquellos cuyo nivel sea menor al 0.25% y medio entre 0.25 y 0.50%.

Carbono orgánico

El contenido varió entre 4.85% y 2.87%, en donde el testigo es el bosque presentó el mayor valor, al respecto Aguilera (2000) afirma que el COS está asociado a la materia orgánica del suelo, proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico, lo cual se ve reflejado en el presente estudio con valores de la CIC, que fluctuaron entre 24.8 a 18.17 cmol^+/Kg correspondientes a un estimativo alto y medio.

Balance de Bases.

Relación Calcio – Magnesio Ca/Mg.

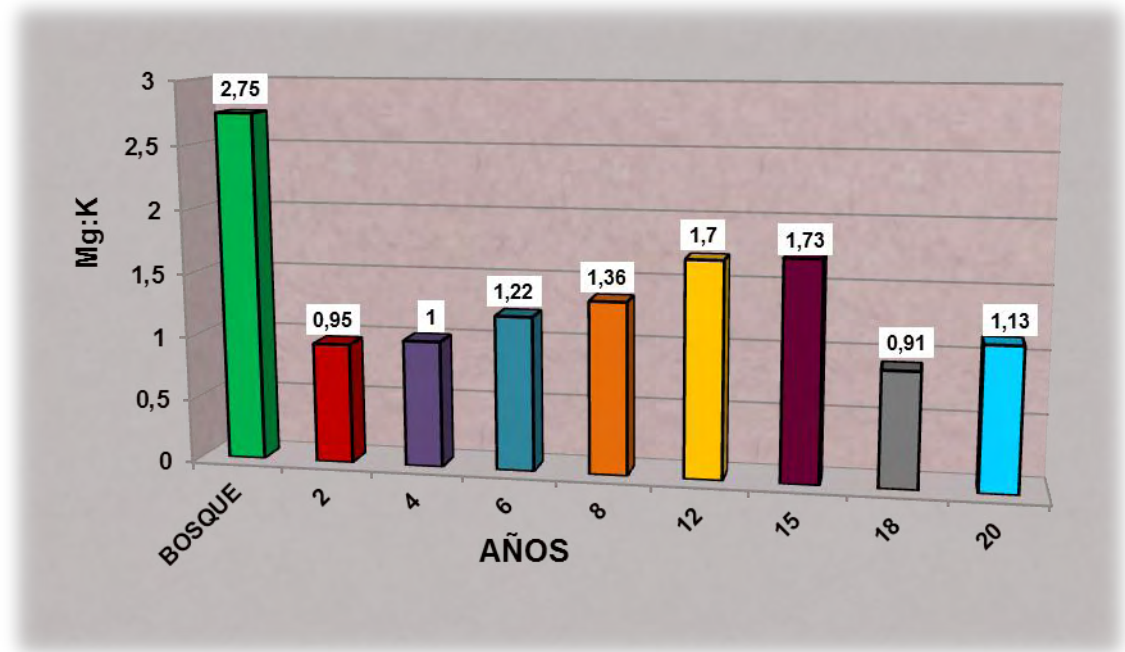
Los valores medios oscilaron entre 5.37 para los 8 años de uso y 12.82 para los 18 años, de acuerdo con Gómez (2013), los niveles de interpretación de la relación Ca/Mg, muestran que en los tratamientos evaluados existe una deficiencia de Mg como lo determinaron los diferentes análisis de suelos cuyos niveles fluctuaron entre muy bajo y bajo contenido de Mg al presentarse una relación mayor de 6.

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, el grado de lixiviación y la porosidad.

Relación Magnesio - Potasio Mg/K

El análisis de varianza (Tabla 3), muestra diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0.05$), entre tratamientos correspondientes al tiempo de uso del suelo bajo el monocultivo de frijol voluble con relevo maíz con relación al testigo. Las diferencias son notorias por cuanto, se aprecia que la relación Mg/K osciló entre 0.91 a 2.75, en donde es el testigo el tratamiento que presentó el mayor valor en la relación, el que a su vez, presentó diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos cuyos valores fluctuaron entre 0.91 y 1.73 (Figura 6).

Figura 6. Variación de la relación Mg:K del suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con frijol voluble relevo maíz



Sin embargo, estos valores en la relación, le otorgan al suelo una apreciación de un nivel de deficiencia en magnesio, ya que de acuerdo a la calificación propuesta por Gómez (2013), determina que los suelos con relaciones menores de 6 son deficientes en magnesio.

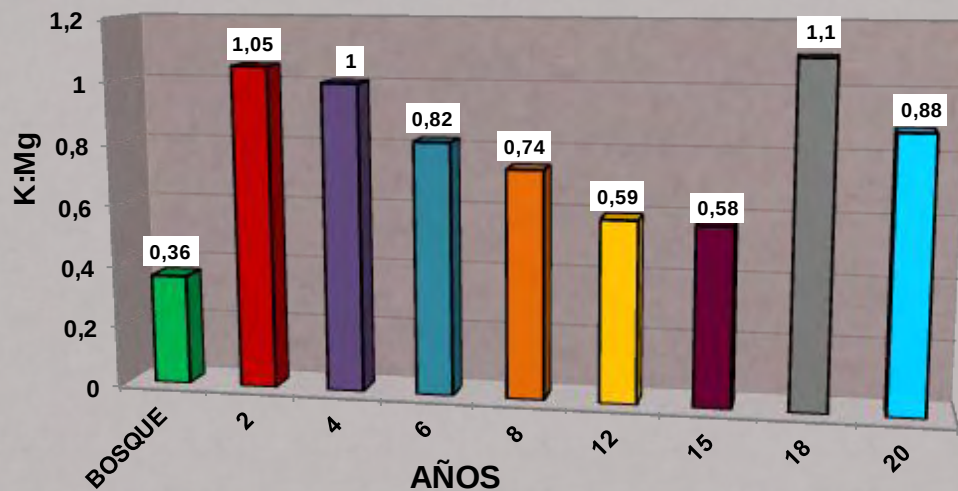
Lo anterior demuestra que una relación ideal es aquella que tiene un valor entre 6 y 8 en donde los dos elementos se encuentran en equilibrio en el suelo, si supera esta relación un valor de 10 se presenta deficiencia de potasio, y si el valor es menor a 6 se puede presentar deficiencia de magnesio, por lo cual se recomienda aplicarlo al suelo.

De acuerdo al resultado obtenido se concluye que hay una deficiencia de Mg debido a que el valor correspondiente es menor a 6 lo que ratifica lo encontrado a partir de la relación Ca/Mg, las concentraciones de Mg en el complejo de cambio varían según el material parental, la textura, presencia de otros cationes, la acidez, la lluvia, la extracción de los cultivos y los aportes vía fertilización y enclavamiento, en este sentido como lo afirma (Havlin *et al.*, 1999) las deficiencias de Mg tienden a ocurrir cuando los suelos son ácidos, altamente lavados, con baja CIC, entre otros.

Relación Potasio - Magnesio K/Mg

De acuerdo con el análisis de varianza se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), el testigo y los diferentes tiempos de uso. Se encontró que el menor valor en esta relación se presentó en los suelos correspondientes a bosque 0.36 y lotes con más altos valores los de 18, 2, 4 años con 1.1, 1.05 y 1.0 respectivamente (Figura 7).

Figura 7. Variación de la relación K /Mg del suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con frijol voluble relevo maíz.



De acuerdo con Castro y Gómez (2013), quienes dan una estimación conceptual de esta variable se puede afirmar que en general los suelos evaluados presentan una marcada deficiencia de magnesio como se manifestó anteriormente, porque los valores de esta relación son mayores de 0.3.

Relación Calcio – Potasio Ca/K

Los resultados de esta relación variaron entre 9.91 a 18.52, lo que permite afirmar que de acuerdo con Lora (2013) al igual que Unigarro., *et al* (2009), en general los suelos evaluados en los tiempos de uso de 0, 2, 12, 15, 18 y 20 años presentan una relación ideal fluctuando entre 12 y 17 y para los tiempos de uso de 4, 6, 8 años la relación es menor de 15 presentándose deficiencia de calcio.

Relación Calcio + Magnesio/Potasio (Ca+Mg)/K

Los resultados promedios, indican que los valores más bajos se presentaron en el tratamiento de 8 años de uso, con un valor de 8.65 y el más alto a los 15 años con 20.25.

De acuerdo con Gómez (2005), quien da una estimación conceptual de esta variable se puede afirmar que en general los suelos evaluados presentan una deficiencia de magnesio porque los valores obtenidos en todos los tratamientos fueron inferiores a 20, a excepción del tratamiento de 15 años de tiempo de uso cuyo valor fue el ideal para estos tres nutrientes 20,25.

5.3 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FRÌJOL VOLUBLE (kg/ha), EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE USO DE LOS SUELOS.

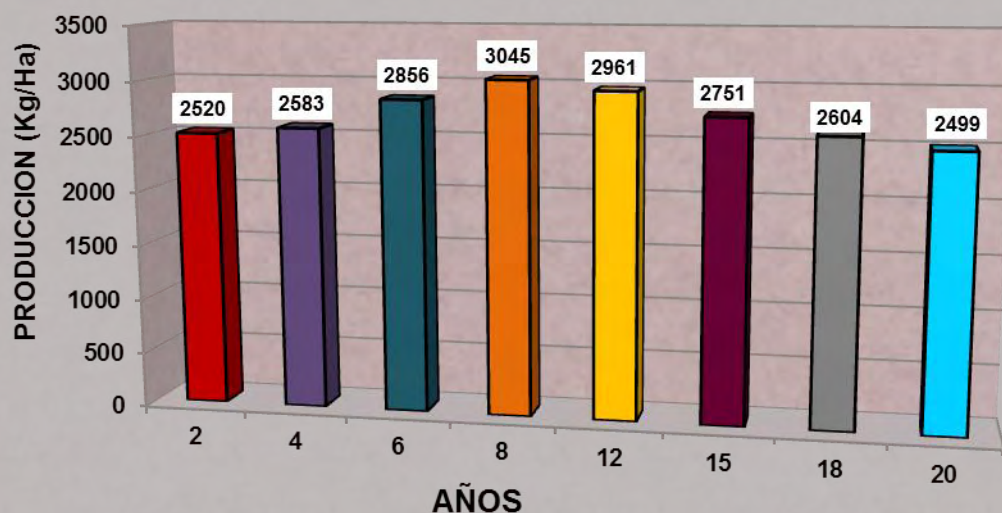
La producción de grano seco a través del tiempo de uso de los suelos evaluados en el municipio de Sibundoy, tiene una tendencia a incrementarse hasta los ocho años uso con un valor promedio de 3045 kg/ha, a partir del cual inicia una disminución de la misma hasta 2499 kg/ha a los 20 años de uso (Figura 8 y Tabla 4).

Los resultados anteriores, indican que los promedios más altos se obtuvieron en los lotes de 8 años de uso con 3045 kg/ha y los más bajos a los dos y 20 años con 2520 y 2499 kg/ha respectivamente, los que se encuentran por encima del promedio nacional que está entre 1200 a 1400 kg/ha según Corpoica (2013).

Tabla 4. Comportamiento de la producción (kg/ha) grano seco en el suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con frijol.

AÑOS	REPETICIONES (Kg/Ha)			PROMEDIO
	1	2	3	
2	2583	2457	2520	2520
4	2394	2583	2772	2583
6	3465	2646	2457	2856
8	2520	3780	2835	3045
12	2835	2961	3087	2961
15	2646	2772	2835	2751
18	2583	2646	2583	2604
20	2520	2457	2520	2499

Figura 8. Variación de la producción (kg/ha) en el suelo a través del tiempo de uso bajo monocultivo con frijol voluble relevo maíz.



Esta producción posiblemente se debe a que las propiedades físicas y químicas no se han afectado notablemente a través del tiempo de uso, y por ello se ha mantenido.

Otros factores determinantes en la producción, fueron los relacionados con la precipitación pluvial y la humedad de los suelos, la cual estuvo influenciada por la provisión de humedad para el cultivo. Todos estos componentes, permitieron mantener una producción alta en los diferentes tiempos de uso.

Los resultados obtenidos en la presente investigación, son similares a los reportados por Preciado (1997), quien al evaluar la producción de arroz a través del tiempo de uso del suelo bajo uso consecutivo, encontró que esta no disminuía, sin embargo cabe anotar que dicha investigación se hizo en suelos que son labrados intensivamente a través del tiempo, situación que pone de manifiesto el efecto contrastante de los sistemas de monocultivo de arroz y frijol voluble relevo maíz, en la producción del cultivo por estar en niveles superiores al promedio nacional.

5.4 ANÁLISIS MULTIVARIADO

A través de este análisis se da a conocer las posibles interrelaciones entre las variables físicas y químicas del suelo en el monocultivo con frijol voluble relevo maíz, bajo intensidades de tiempo de uso continuo en 2, 4, 6, 8, 12, 15, 18 y 20 años y en el tratamiento testigo correspondiente a bosque secundario.

5.4.1 Correlaciones múltiples entre las variables evaluadas. La tabla 5, reúne las correlaciones múltiples para las 27 variables físicas y químicas de los suelos evaluadas. Se logró establecer que el contenido de materia orgánica presentó una correlación altamente significativa con la CIC, cuyo coeficiente fue 0.788, también tiene relación directa con el contenido de nitrógeno total, carbono orgánico, microporosidad, humedad gravimétrica con coeficientes de 0.998, 1.00, 0.503, 0.525 respectivamente, y existe una correlación negativa con la densidad aparente valor - 0.325.

Estos resultados, permiten afirmar que el comportamiento de la MO en los suelos, influyen en las propiedades físicas y químicas. En lo físico permite la agregación de partículas del suelo, lo que mejora su estabilidad, porosidad, estructura física, de esta manera se incrementa la capacidad de infiltración y retención de agua en forma óptima.

Al respecto Burbano, 1989; Kolmans y Vásquez, 1996; Jaramillo 2001 afirman que la materia orgánica ayuda a mejorar las propiedades químicas del suelo y a retener los nutrientes; actúa como amortiguador regulando la disponibilidad de estos según las necesidades de las plantas. Por ejemplo en suelos ácidos, impide la fijación del fósforo, neutraliza el efecto tóxico del aluminio, aporta N, P, S

principalmente, incrementa el valor de la CIC, es muy importante en los trópicos por su propiedad tampón o amortiguadora ("Bufferin") de los nutrientes, la densidad aparente está afectada por el contenido orgánico, los valores más bajos se obtienen en suelos con altos contenidos, valores inferiores de 1 g/cc.

El pH presentó una correlación positiva y altamente significativa con las relaciones de bases Ca/K con un valor de 0.538 y (Ca+Mg)/K con 0.549. Además los elementos relacionados con las propiedades de cambio son los cationes y la presencia de uno u otro depende del grado de acidez del suelo, del origen de las cargas (arcillas + materia orgánica y de las propiedades del elemento como energía de retención, radio iónico y valencia (Castro y Gómez, 2013), en general los suelos ácidos presentan baja disponibilidad de bases, de fósforo y molibdeno. (Jaramillo, 2001)

El fósforo tiene una correlación altamente significativa y positiva con Ca, Ca/Mg, Ca/K y (Ca+Mg)/K con valores de 0.694, 0.526, 0.627, 0.654 para cada variable, estos resultados, se deben posiblemente a que en suelos de pH elevado, la actividad del calcio controla la solubilidad del fósforo, las relaciones encontradas indican que el H_2PO_4 de los fosfatos de calcio es soluble en suelos ácidos e insolubles en medios alcalinos, además en la disponibilidad del P para las plantas influye la disponibilidad de Ca (Lora 1994), al respecto Sanchez y Uehara (1980), citados por Guerrero (1994) plantean que para evitar la fijación del P y aumentara la eficiencia es recomendable la utilización de enmiendas calcáreas y silicatadas.

La CIC presentó una correlación positiva y altamente significativa con el Mg = 0.536, K= 0.561, N = 0.786, C = 0.788, microporosidad = 0.571 esto debido a que los cationes más importantes en el proceso de intercambio, por las cantidades de ellos que participan en dichos procesos son Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ y Na^+ (las bases del suelo) Jaramillo, (2001). Esta propiedad está estrechamente relacionada con la fertilidad del mismo, la carga negativa que tienen los coloides orgánicos y minerales esta neutralizada por los iones de carga positiva atraídos por la superficie de éstos; de ahí la importancia de que a mayor CIC, mayor fertilidad en el suelo (Salamanca, 1984).

Amezquita (1994), afirma que existe una relación estrecha entre los procesos que permiten el contacto de los elementos nutritivos con la raíz y la distribución del tamaño de poros, la interceptación ocurre fundamentalmente por los macroporos, el flujo de masa por mesoporos y la difusión por los microporos en el caso de K este mecanismo es predominante en suelos naturales, debido al movimiento de los iones de un punto de mayor concentración (solución del suelo) a otro de más baja concentración (rizosfera y superficie de la raíz), y por difusión se mueve el 78% del K (Lora 1994).

Para bases intercambiables como el Ca la correlación fue positiva y altamente significativa con Mg, K, Ca/Mg, Mg/K, Ca/K, microporosidad y correlación negativa

con K/Mg, mesoporosidad, estabilidad de agregados con valores -0.560, -0.535, -0.675. El Mg la correlación altamente significativa y positiva la presenta con K= 0.81, Mg/K = 0.540 microporosidad = 0.615, distribución de agregados = 0.599, humedad gravimétrica = 0.518, humedad volumétrica = 0.516. Con respecto al K las correlaciones altamente significativas y positivas se presentaron con microporosidad = 0.674, distribución de agregados = 0.590, humedad gravimétrica = 0.692 y humedad volumétrica = 0.688 y significativas negativas con macroporosidad = - 0.514, mesoporosidad = - 0.669.

El N presentó una correlación positiva altamente significativa con el carbono orgánico, cuyo coeficiente fue de 0.998.

Al respecto Aguilera (2000) manifiesta que 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.

Con los valores de nitrógeno total y carbono orgánico se determina la relación C/N, esta relación es muy importante como lo afirma el CIAO (1997), porque da una idea de los procesos que están regulando la disponibilidad de nitrógeno en el suelo por descomposición de la materia orgánica, la competencia por nitrógeno asimilable entre la planta y los microorganismos aparece cuando la relación es alta, en perjuicio de la planta; lo que equivale a decir que el aporte de nutrientes por parte de la materia orgánica es poco eficiente. Cuando la relación es baja, seguramente la materia orgánica da buenos suministros de algunos nutrimentos.

Al respecto Aldana (2005), Aguirre (2007), afirman que la relación carbono – nitrógeno se clasifica como baja cuando es menor a 10, indica que la materia orgánica da buen suministro de nitrógeno, fósforo, azufre, disponible para las plantas y es propia de climas cálidos en suelos bien aireados. Entre 10 - 12 relación media indica que hay un suministro normal de nutrientes por descomposición de la materia orgánica, mayor 12 es una relación alta, indica que el aporte por descomposición de materia orgánica es muy lento, lo cual es debido a clima muy frío, suelos muy ácidos o muy alcalinos y encharcamientos.

La relación de bases presenta las siguientes correlaciones positivas altamente significativas Ca/Mg con Ca/K con valor de 0.789, (Ca+Mg)/K = 0.747, Mg/K con Ca/K = 0.665, (Ca+Mg)/K = 0.706, y negativa altamente significativa con K/Mg = - 1.00, la relación K/Mg presenta correlaciones negativas altamente significativas con Ca/K = - 0.668 y (Ca+Mg)/K = - 0.709.

Al respecto León (1994) manifiesta que, en general los contenidos muy altos de Ca^{2+} y Mg^{2+} disminuyen la absorción del K^+ y que los niveles elevados de K^+

pueden llegar a agravar la deficiencia de Mg^{2+} . Pese a lo expuesto se debe resaltar que las plantas tienen una capacidad de adaptación bastante grande y solo en condiciones de relaciones extremas serían afectadas en su crecimiento. León (1994) sugiere las siguientes reglas prácticas como guía: i) no se debe dejar que el contenido de potasio esté por encima del Mg^{2+} , ii) el mantener altos contenidos de Ca^{2+} ayuda a evitar las pérdidas de K^+ por lixiviación y reduce el consumo de lujo de K^+ .

La densidad aparente tiene una correlación inversa y significativa con la porosidad, cuyo coeficiente fue - 0.806, al igual que la microporosidad con la macroporosidad con un valor de - 0.858 y la mesoporosidad - 0.954 y positiva significativa con la humedad gravimétrica y volumétrica con valores de coeficiente 0.805 y 0.801 respectivamente.

La macroporosidad presentó una correlación altamente significativa positiva con la mesoporosidad con un valor en la correlación 0.696 y negativa con la humedad gravimétrica - 0.700 y volumétrica con - 0.694

Tabla 5. Matriz de correlaciones múltiples entre las propiedades físicas y químicas

		pH	MO	P	OC	Ca	Mg	K	N	C	Ca/Mg	Mg/K	K/Mg	Ca/K	(Ca-Mg)/K	Al (%)	Li (%)	Ar (%)	Ca	Dr	For (%)	Mn	Mo	Me	Eq	Dq	g (%)	H (%)	
pH Potencial de Relación Suelo (1:1) Agua	Coeficiente de correlación	1,00																											
	Sg	-115	1,00																										
Materia Orgánica	Coeficiente de correlación	-0,345																											
	Sg	-425	-1,357	1,000																									
Porcentaje disponible	Coeficiente de correlación	-0,27	-0,777																										
	Sg	-221	-777																										
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC)	Coeficiente de correlación	-0,132	-0,755	-0,145	1,000																								
	Sg	-544	-2,200	-452																									
Calor de Cambio	Coeficiente de correlación	-0,453	-0,232	-0,597	-0,277	1,000																							
	Sg	-215	-344	-200	-253																								
Nitrogeno de Cambio	Coeficiente de correlación	-0,177	-0,423	-0,370	-0,255	-0,725	1,000																						
	Sg	-275	-225	-251	-204	-200																							
Potasio de Cambio	Coeficiente de correlación	-0,035	-0,345	-0,245	-0,357	-0,545	-0,107	1,000																					
	Sg	-550	-2,211	-211	-202	-202	-200																						
Nitrogeno Total	Coeficiente de correlación	-0,132	-0,255	-0,252	-0,157	-0,222	-0,455	-0,222	1,000																				
	Sg	-225	-200	-225	-200	-242	-225	-222																					
Carbono Orgánico	Coeficiente de correlación	-0,135	-0,102	-0,257	-0,155	-0,222	-0,422	-0,345	-0,225	1,000																			
	Sg	-345	-277	-200	-244	-225	-211	-200																					
Ca/Mg	Coeficiente de correlación	-0,170	-0,257	-0,255	-0,155	-0,217	-0,254	-0,255	-0,257	-0,257	1,000																		
	Sg	-212	-277	-205	-210	-204	-225	-225	-225	-225																			
Mg/K	Coeficiente de correlación	-0,255	-0,155	-0,257	-0,211	-0,255	-0,242	-0,222	-0,155	-0,155	-0,222	1,000																	
	Sg	-245	-211	-225	-225	-204	-225	-225	-225	-225	-225																		
K/Mg	Coeficiente de correlación	-0,254	-0,155	-0,247	-0,210	-0,255	-0,225	-0,222	-0,145	-0,155	-0,222	-1,000	1,000																
	Sg	-245	-211	-227	-225	-204	-225	-225	-225	-225	-225	-225																	
Ca/K	Coeficiente de correlación	-0,225	-0,122	-0,227	-0,252	-0,245	-0,251	-0,255	-0,257	-0,222	-0,225	-0,225	-0,225	1,000															
	Sg	-225	-210	-200	-225	-200	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225																
(Ca-Mg)/K	Coeficiente de correlación	-0,245	-0,245	-0,224	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,245	-0,245	-0,245	-0,225	-0,225	-0,225	1,000														
	Sg	-202	-225	-200	-257	-200	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225															
PORCENTAJE DE ARGILLAS (%)	Coeficiente de correlación	-0,125	-0,125	-0,111	-0,124	-0,275	-0,225	-0,255	-0,257	-0,125	-0,124	-0,155	-0,155	-0,222	-0,225	1,000													
	Sg	-225	-225	-212	-227	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225														
PORCENTAJE DE LÍMOS (%)	Coeficiente de correlación	-0,155	-0,154	-0,257	-0,225	-0,275	-0,275	-0,275	-0,225	-0,244	-0,225	-0,225	-0,225	-0,225	-0,225	-0,225	1,000												
	Sg	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225													
PORCENTAJE DE ARELLAS (%)	Coeficiente de correlación	-0,125	-0,222	-0,197	-0,227	-0,245	-0,222	-0,244	-0,155	-0,222	-0,112	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	1,000											
	Sg	-225	-227	-224	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225											
Densidad Aparente Anillo	Coeficiente de correlación	-0,205	-0,225	-0,252	-0,255	-0,255	-0,251	-0,155	-0,222	-0,225	-0,225	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	1,000										
	Sg	-202	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225										
Densidad Real	Coeficiente de correlación	-0,222	-0,257	-0,254	-0,255	-0,272	-0,224	-0,255	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	1,000									
	Sg	-222	-227	-242	-245	-255	-222	-222	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225	-225									
Porcentaje %	Coeficiente de correlación	-0,122	-0,222	-0,172	-0,141	-0,222	-0,222	-0,272	-0,272	-0,222	-0,224	-0,172	-0,172	-0,172	-0,172	-0,172	-0,172	-0,172	-0,172	-0,172	1,000								
	Sg	-222	-225	-227	-222	-224	-225	-225	-225	-225	-224	-227	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222								
Macropropiedad	Coeficiente de correlación	-0,225	-0,222	-0,225	-0,222	-0,217	-0,215	-0,217	-0,217	-0,222	-0,225	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	1,000							
	Sg	-225	-225	-225	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-225	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222							
Macropropiedad	Coeficiente de correlación	-0,225	-0,222	-0,222	-0,222	-0,215	-0,215	-0,215	-0,215	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	1,000						
	Sg	-225	-225	-225	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222						
Micropropiedad	Coeficiente de correlación	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,215	-0,215	-0,215	-0,215	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	1,000					
	Sg	-225	-225	-225	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222					
Estabilidad	Coeficiente de correlación	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,215	-0,215	-0,215	-0,215	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	1,000				
	Sg	-225	-225	-225	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222				
DISTRIBUCION DE AGREGADOS (Shaner)	Coeficiente de correlación	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,215	-0,215	-0,215	-0,215	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	1,000			
	Sg	-225	-225	-225	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222			
HUMEDAD GRAVIMETRICA (%)	Coeficiente de correlación	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,215	-0,215	-0,215	-0,215	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	1,000		
	Sg	-225	-225	-225	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222		
HUMEDAD VOLUMETRICA (%)	Coeficiente de correlación	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,215	-0,215	-0,215	-0,215	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	-0,222	1,000	
	Sg	-225	-225	-225	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	-222	

5.4.2 Componentes principales. El análisis de componentes principales se trabajó con los promedios resultantes de las repeticiones en cada tratamiento, es así como se obtuvieron 27 observaciones para los diferentes tiempos de uso, con 27 variables físicas y químicas. Además se calculó el coeficiente de variación para determinar que variables son las de mayor variabilidad y así seleccionar aquellas que forman parte de la discusión (Anexo F).

Al presentar bajo coeficiente de variación menor al 20%, de las variables pH, arenas (%), densidad aparente, densidad real, porosidad %, estabilidad de agregados (Yoder), humedad gravimétrica (%), humedad volumétrica (%), se considera que existe una relativa uniformidad de este componente en todos los suelos que constituyen el estudio, es decir que son variables con bajo poder de discriminación y las cuales no son alteradas a través del tiempo de uso del suelo bajo monocultivo, por tal razón se removieron del conjunto de variables que constituyeron el análisis final.

Las variables que constituyen el análisis multivariado y por consiguiente las de mayor importancia en la diferenciación de suelos para la presente investigación fueron: materia orgánica, fósforo disponible, capacidad intercambio catiónico (CIC), calcio, magnesio y potasio de cambio, nitrógeno total, carbono orgánico, relaciones de bases Ca:Mg, Mg:K, K:Mg, Ca:K, (Ca+Mg)/K, Limos (%), Arcillas (%), microporosidad, macroporosidad, mesoporosidad, distribución de agregados (Shaker) del total de 27 variables se tomaron 19 considerándolas por lo tanto como representativas en los suelos dedicados al cultivo de frijol voluble relevo maíz en el municipio de Sibundoy, a través de diferentes tiempos de uso que están ubicadas en los factores que explican el 69.5%

El análisis de componentes principales permitió establecer, con base en el valor propio que es mayor a la unidad, un total de tres factores o componentes, los cuales explican el 69.5 % de la variabilidad total de la población (Tabla 6 y 7).

Tabla 6. Comunalidades de los componentes principales

Comunalidades		
	Inicial	Extracción
Materia Orgánica	1,000	,976
Fósforo disponible	1,000	,589
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC)	1,000	,777
Calcio de Cambio	1,000	,925
Magnesio de Cambio	1,000	,963
Potasio de Cambio	1,000	,902
Nitrógeno Total	1,000	,975
Carbono Orgánico	1,000	,976
Ca:Mg	1,000	,912
Mg:K	1,000	,910
K:Mg	1,000	,889
Ca:K	1,000	,981
(Ca+Mg)/K	1,000	,983
PORCENTAJE DE LIMOS (%)	1,000	,449
PORCENTAJE DE ARCILLAS (%)	1,000	,719
Microporosidad	1,000	,960
Macroporosidad	1,000	,895
Mesoporosidad	1,000	,909
DISTRIBUCION DE AGREGADOS (Shaker)	1,000	,680

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Tabla 7. Valores propios de la matriz de correlaciones

Varianza total explicada						
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	6,336	33,348	33,348	6,336	33,348	33,348
2	4,607	24,248	57,597	4,607	24,248	57,597
3	2,254	11,861	69,458	2,254	11,861	69,458
4	1,722	9,065	78,523	1,722	9,065	78,523
5	1,449	7,625	86,148	1,449	7,625	86,148
6	,783	4,123	90,270			
7	,600	3,158	93,428			
8	,527	2,774	96,202			
9	,344	1,810	98,012			
10	,160	,841	98,853			
11	,115	,605	99,459			
12	,046	,245	99,703			
13	,035	,184	99,887			
14	,013	,066	99,953			
15	,008	,043	99,997			
16	,001	,003	100,000			
17	7,724E-5	,000	100,000			
18	1,456E-6	7,664E-6	100,000			
19	7,295E-8	3,839E-7	100,000			

Método de extracción: análisis de componentes principales.

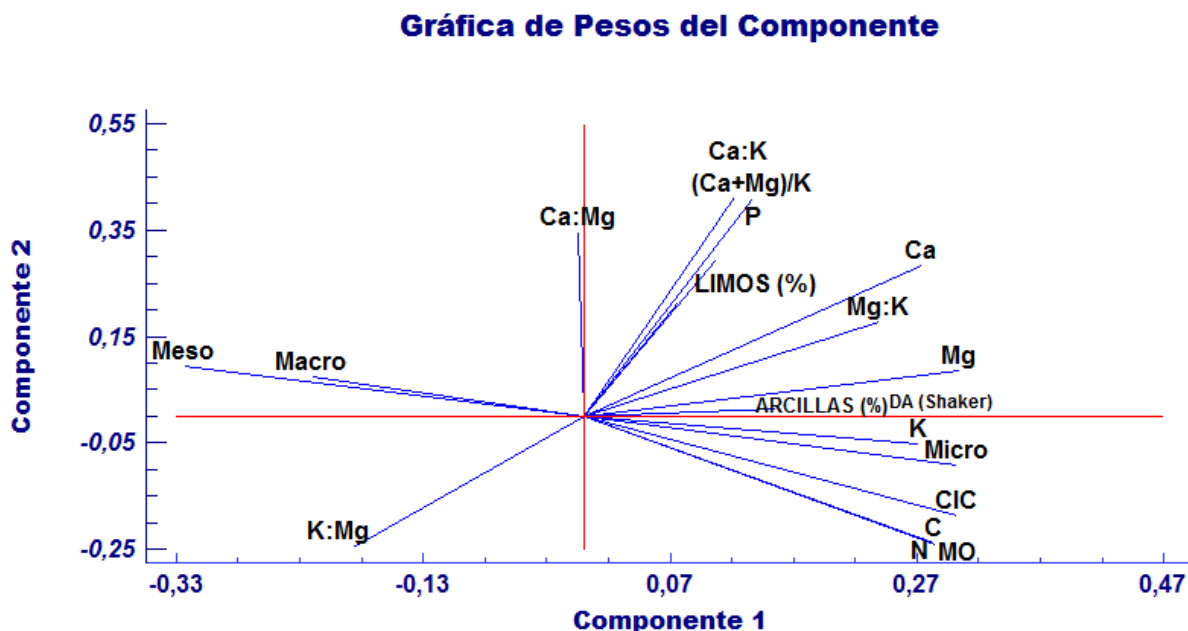
El primer componente principal explica el 33.348% de la variación, el segundo componente explica el 24.248%, el tercero el 11.861%, lo anterior y para cada componente mencionado está explicado por las siguientes variables (Tabla 9), para el primer componente las variables que tienen mayor contribución son materia orgánica (0.715), capacidad de intercambio catiónico (0.760), magnesio de cambio (0.767), nitrógeno total (0.717), carbono orgánico (0.715), y microporosidad, siendo su correlación positiva, y mesoporosidad (-0.813), con correlación negativa, identificando al componente como orgánico y sus efectos positivos en la fertilidad de los suelos (Figura 9)

Tabla 8. Matriz de correlación entre variables originales y componentes principales (CP).

Matriz de componente Principales ^a					
	Componente				
	1	2	3	4	5
Materia Orgánica	,715	-,510	,319	-,271	,170
Fósforo disponible	,272	,633	-,199	-,135	,238
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC)	,760	-,401	,094	-,041	,168
Calcio de Cambio	,689	,609	-,178	,207	-,065
Magnesio de Cambio	,767	,184	,177	,468	-,300
Potasio de Cambio	,682	-,108	-,300	,574	-,070
Nitrógeno Total	,717	-,514	,305	-,278	,161
Carbono Orgánico	,715	-,512	,317	-,271	,170
Ca:Mg	-,013	,742	-,355	-,403	,269
Mg:K	,603	,382	,556	,106	-,284
K:Mg	-,472	-,526	-,613	,032	,111
Ca:K	,309	,884	,024	-,318	,053
(Ca+Mg)/K	,346	,878	,069	-,296	,027
PORCENTAJE DE LIMOS (%)	,193	,458	,136	,426	,037
PORCENTAJE DE ARCILLAS (%)	,290	,002	-,021	,235	,761
Microporosidad	,759	-,195	-,508	-,205	-,213
Macroporosidad	-,554	,161	,647	,155	,345
Mesoporosidad	-,813	,204	,386	,205	,123
DISTRIBUCION DE AGREGADOS (Shaker)	,391	,031	-,308	,423	,502
Método de extracción: análisis de componentes principales.					
a. 5 componentes extraídos.					

Burbano (1989), Jaramillo (2001), Aguirre y Piraneque (2007), coinciden en que la fracción orgánica del suelo puede considerarse como el principal componente sólido que posee este recurso natural, ya que de alguna manera se relaciona con casi todas las propiedades de él.

Figura 9. Diagrama del aporte de las variables cuantitativas a los dos primeros factores principales



En el segundo componente, las variables de mayor peso son fósforo disponible (0.633), las relaciones Ca:Mg (0.742), Ca:K (0.884), y (Ca+Mg)/K (0.878), Ca de cambio (0.609), con correlaciones positivas y materia orgánica (-0.510), Nitrógeno total (-0.514), carbono orgánico, (-0.510), CIC (-0.401,) con correlaciones negativas.

En el tercer componente sobresalen la macroporosidad (0.647), la relación Mg/K con correlaciones positivas y K/Mg (-0.613)

Como el primer y segundo componente, explican el 57.6% de la variación total, conviene destacar el hecho que con el tiempo las variables que más se han visto influenciadas con el monocultivo han sido las que guardan una estrecha relación con el contenido de materia orgánica (primer componente) teniendo claro la importancia de este factor en las propiedades físicas, químicas y biológicas explicadas anteriormente y condiciones de nutrición (segundo componente), teniendo en cuenta que básicamente las plantas toman los nutrientes de la solución del suelo es necesario considerar aquellos factores que influyen en esta disponibilidad, un adecuado diagnóstico de la fertilidad natural del suelo contribuye de manera importante al manejo integral de los nutrientes que el suelo aporta a la planta.

5.4.3 Análisis de conglomerados. Con el fin de agrupar los suelos con base en sus variables físicas y químicas, evaluadas en los lotes con diferentes tiempos de

uso se realizó el análisis de conglomerados a partir de los componentes principales seleccionados (Tabla 9 y Figura 10).

Tabla 9. Identificación de los suelos que conforman cada uno de los cuatro grupos que constituyen el análisis de clasificación.

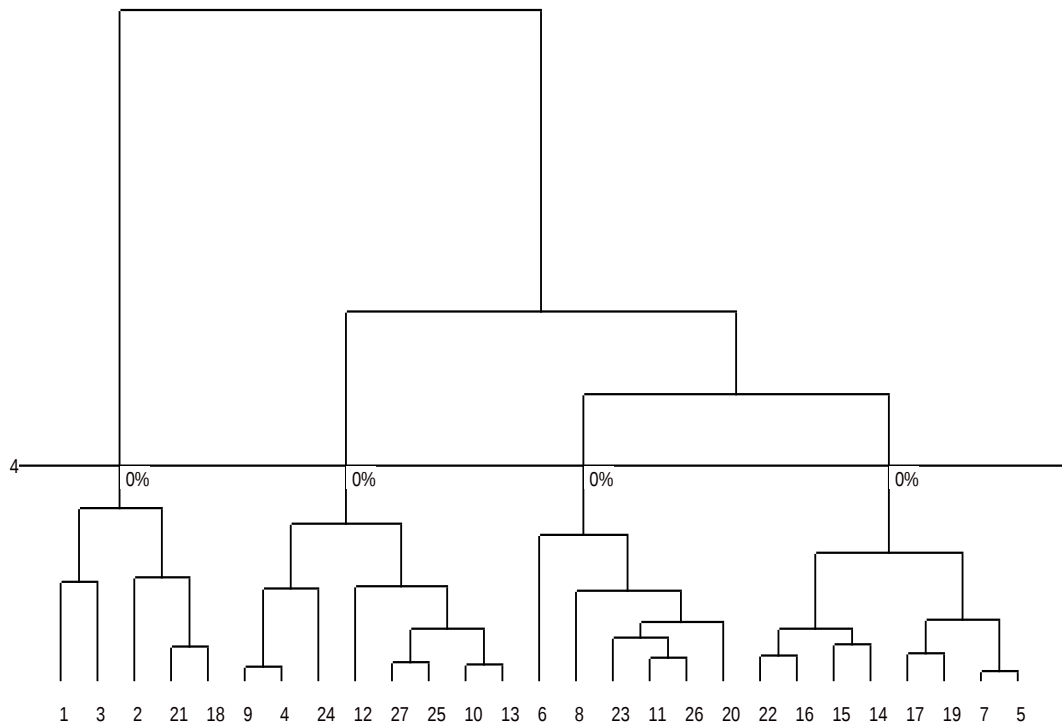
GRUPO	Nº INDIVIDUOS	SUELOS	%
1	5	1 2 3 18 21	18.52
2	8	4 9 10 12 13 24 25 27	29.63
3	6	6 8 11 20 23 26	22.22
4	8	5 7 14 15 16 17 19 22	29.63

Los suelos 1, 2, 3 pertenecen al tratamiento testigo (bosque), 4, 5, 6 a 2 años de uso, 7, 8, 9 a 4 años, 10, 11, 12 a 6 años, 13, 14, 15 a 8 años, 16, 17, 18 a 12 años, 19, 20, 21 a 15 años, 22, 23, 24 a 18 años, 25, 26, 27 a 20 años.

El grupo uno estuvo formado por cinco (5) suelos, los cuales representan el 18.52% de los que se incluyeron en la investigación. Este grupo lo conforman los suelos que representan al bosque (1, 2, 3) y un suelo del tratamiento de 12 años de uso (18) y uno de 15 años (21) bajo monocultivo frijol relevo maíz, que se caracterizaron por presentar el mayor promedio en magnesio de cambio, relación Mg:K, calcio de cambio, microporosidad, relación (Ca+Mg)/K, y potasio (Anexo G).

Figura 10. Conformación de grupos basados en un análisis jerárquico de las variables cuantitativas en suelos bajo monocultivo de frijol voluble relevo maíz y bosque.

Hierarchical Cluster Analysis



Además estos suelos se caracterizan por presentar un bajo índice de mesoporosidad, en la relación K:Mg y en la producción.

El grupo 2, se conformó por 8 suelos que constituyen el 29.63% del total de lotes evaluados, y agrupa suelos de varios años de tiempo de uso (2, 4, 6, 8, 18, 20) bajo el mismo manejo, presentando un promedio mayor en las relaciones K:Mg (1.06 - 0.82), caracterizando a este grupo por la deficiencia de Mg con respecto a los demás, al presentar valores mayores de 0.3 en la relación de estos dos nutrientes, además presentaron promedios inferiores con respecto al general en las siguientes relaciones Ca:K (6.59 – 13.18) y (Ca+Mg)/K (7.59 – 14.59), que representa que en estos suelos se presente deficiencias de Mg al presentar valores menores a 15 y 20 respectivamente en cada una, como se explicó en forma individual anteriormente. Explicando estas respuestas por cuanto a los suelos que constituyen este grupo, se les practica un encalamiento no muy regular, y se realiza con cal agrícola que contiene solamente Ca, incrementando el problema de la deficiencia de Mg.

Los suelos identificados como 6, 8, 11, 20, 23, y 26 conformaron el grupo tres, correspondientes a los tratamientos de 2, 4, 6, 15, 18, y 20 años de tiempo de uso

el cual se identificó por tener mayor promedio que el general en la relación Ca:Mg, (14.79 – 9.48), conformando un 22.22% de la población de esta investigación con lo que se podría afirmar que estos suelos presentan deficiencias de Mg.

El grupo cuatro estuvo conformado por 8 suelos que representan a los tratamientos de 2, 4, 8, 12, 15, 18 años bajo monocultivo con frijol voluble relevo maíz y se caracteriza por presentar los mayores valores promedios que el promedio general en las variables mesoporosidad y macroporosidad y menores en calcio, materia orgánica, carbono, nitrógeno total, distribución de agregados, potasio, CIC, y microporosidad.

El análisis anterior determina que en los suelos de la investigación no se observó una diferencia marcada en las propiedades físicas y químicas evaluadas con relación al tiempo de uso de frijol voluble relevo maíz, porque en los diferentes grupos se incluyen lotes de diferentes tiempos, sin encontrar una diferencia marcada a acepción del testigo que corresponde a bosques secundarios de la zona en estudio.

Al no observarse relación en los cambios de las propiedades físicas y químicas, posiblemente existen otros aspectos como la pendiente plana, la distribución adecuada de las lluvias para el cultivo, el manejo hecho por los productores, que son muy homogéneas en la zona de estudio e influyen en esta respuesta.

6. CONCLUSIONES

Se observó que en las condiciones en las cuales se llevó el presente estudio, con el uso consecutivo del suelo bajo monocultivo con frijol voluble relevo maíz, no altera de manera significativa la mayoría de propiedades físicas como químicas las que a su vez se conservan a través de los diferentes tiempos de uso evaluados.

La correlación de las variables permitió determinar que existe una alta influencia de la materia orgánica y sus efectos sobre los suelos del estudio, la cual se relaciona con la CIC, los aportes de magnesio, calcio, y nitrógeno.

En los suelos estudiados se observó una marcada deficiencia de magnesio con valores que fluctuaron entre 0.28 a 1.41 $\text{cmol}^+/\text{kg}^{-1}$.

La variable penetrabilidad del suelo, a medida que se profundiza en el perfil del suelo y se avanza en el tiempo de uso de los lotes bajo monocultivo, la resistencia mecánica a la penetración es mayor, igual que la humedad.

Se evidencio que la producción en el cultivo de frijol se incrementó a través de los años tiempo hasta los 8 años y después de ellos hasta los 20 decreció pero no en forma significativa, la producción promedio en la zona de estudio y para todos los tiempos de uso supero el promedio nacional.

7. RECOMENDACIONES

El componente orgánico dentro de los suelos investigados debe ser una prioridad que se debe seguir fortaleciendo para el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas y que en la actualidad se hace con la incorporación de la caña de maíz, y los residuos de cosecha del frijol, además en el manejo agronómico que hacen los productores siempre se incluye la aplicación de diferentes tipos de abonos orgánicos sólidos.

Por tal razón conviene el propender por labores culturales dirigidas a un plan de manejo del suelo que incluya el componente orgánico, en especial usando los residuos de cosecha como la cascarilla de frijol que se obtiene del proceso de trilla, que en las fincas resulta abundante y en la actualidad en un alto porcentaje se quema, perdiendo un potencial orgánico con el cual se puede generar procesos de elaboración de abonos como prácticas de conservación que permitan mejorar algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, junto con programas de fertilización planificadas técnicamente que suplan los contenidos de nutrientes extraídos por los cultivos de frijol voluble relevo maíz a través del tiempo.

Teniendo en cuenta que la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos son indicadores para determinar su calidad, se recomienda realizar investigaciones en sistemas de producción diferentes, lo mismo que en diferentes clases de suelos en el Valle de Sibundoy

Es importante la continuidad de estudios relacionados con el componente biológico de los suelos, que nos permitan profundizar más sobre el comportamiento de los organismos con diferentes manejos y sus relaciones con las propiedades físicas y químicas

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, M. 2000. Fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la ciencia del suelo. pp. 123 – 137.
- AGUIRRE, S.; PIRANEQUE, N. 2007. Microbiología de suelos. Universidad Abierta y a distancia (UNAD). 286 p.
- ALDANA, A. 2005. Edafología y fertilidad. Universidad nacional abierta y a distancia, facultad de ciencias agrícolas. Santa fe de Bogotá. p 200.
- ÁLVAREZ, M.; OSTERRIETH, M.; BERNAVA, V y MONTTI, L. 2008 Estabilidad, morfología y rugosidad de agregados de argiudoles típicos sometidos a distintos usos: su rol como indicadores de calidad física en suelos de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Cienc. Suelo. 26 (2): 115-129.
- ÁLVAREZ, C; TORRES, M.; CHAMORRO, D y TABOADA, M. 2009. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efecto sobre las propiedades edáficas y los cultivos. Cienc. Suelo., 27 (2), 159-169.
- AMÉZQUITA, E. 1994. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos, In Silva, F. (ed), Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá, Colombia. Pp. 137 -154.
- AMÉZQUITA, E. 1996. Degradación de tierras en regiones húmedas; congreso latinoamericano de la ciencia de suelo. SP Brasil.
- AMÉZQUITA, E. 2003. La fertilidad física del suelo. En: Manejo integral de la fertilidad del suelo. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Bogotá,. pp 164 – 176.
- BARBER, S.A. 1995. Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach. John Wiley y Sons. New York. 414 p.
- BERNAL, N; MONTEALEGRE, G; IPAZ S; CHAPARRO O, RAMÍREZ, L. 2007. Efecto de cuatro métodos de labranza sobre las propiedades físicas y la pérdida de suelo en la rotación papa–pastos en áreas de ladera en una región alto andina de Colombia. Acta Agronómica. 15 (3): 31 42.
- BURBANO, H. 1989. El suelo: una visión sobre sus componentes biorganicos. Universidad de Nariño, Pasto Colombia. pp. 109-117.

BURBANO, H. 2001. Lo bioorgánico en el manejo productivo del suelo. En: Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento. Palmira, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, pp. 109-117.

BURBANO, H. 2004 La piel de la tierra. Cinco reflexiones para valorar el recurso suelo. Pasto, Impresos La Castellana, 447 p.

BURBANO, H., CORAL D., UNIGARRO A., ROMO M. 2005. Evaluación de la calidad del recurso suelo en el parque nacional natural santuario de flora y fauna Galeras, sur de Colombia. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto. 178 p.

BURBANO F Y CADENA W. 2009. Determinación de las características edafoclimáticas que garantizan la producción y calidad nutritiva del pasto brasileiro (*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.

CACCHIARELLI, JOSEFINA; GALANTINI, JUAN A. Y ROSELL, RAMÓN A. 2008, Estabilidad estructural y P en fracciones de agregados en la cuenca del Aº El Divisorio (Coronel Pringles, BA).Cienc. Suelo. 26 (1): 71-79.

CAIRO, P y FUNDORA, O.1994. Edafología. La Habana, Pueblo y educación, 1994. 476p.

CARVALHO, O; *et.al.* 1999 Variabilidad temporal de algunas propiedades químicas en un suelo sometido a distintas sucesiones de cultivo. Madrid, <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/suelos.html>,.

CASTIGLIONI, MARIO GUILLERMO; MORRAS, HÉCTOR JOSÉ MARÍA; SANTANATOGLIA, OSCAR JOSÉ Y ALTINIER, MARÍA VICTORIA. 2005. Contracción de agregados de Argiudoles de la Pampa Ondulada diferenciados en su mineralogía de arcillas.Cienc. Suelo. 23 (1): 13-22.

CASTILLO, J y AMÉZQUITA, E. 2004. Identificación de indicadores de susceptibilidad del suelo a la erosión en inceptisoles andinos. En: I Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo. Palmira, Centro Internacional de Agricultura Tropical,

CASTRO, HUGO.; GÓMEZ MANUEL. 2013. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Principios básicos, segunda edición. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. Bogotá, D.C. pp 217- 298.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA ORGÁNICA (CIAO). 1997. Agricultura alternativa. Corpoamazonia, 75 p.

CONTRERAS, J.; GAVRILOV, L.; ACEVES, L.; ARTEAGA, R.; ESCALONA, M.; FERNANDEZ, D. 2002. Pronostico del cambio en algunas propiedades de los suelos agrícolas al modificarse las condiciones microclimáticas. *Agrociencia*. 36 (003): 267 – 277.

DEL VALLE N, LILIANA; BUSNELLI, J Y SAMPIETRO VATTUONE, MARÍA MARTA. 2010. Incremento de erosión y suelos degradados por acciones antropogénicas y variaciones climáticas, Tucumán. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 66 (4): 499-504.

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

GALVIS, J.; AMÉZQUITA, E.; MADERO E. 2007. Evaluación del efecto de la intensidad de labranza en la formación de costra superficial de un oxisol de sabana en los Llanos Orientales de Colombia. II caracterización física en superficie.

GARCÍA, I.; SÁNCHEZ, M.; VIDAL DÍAZ, M.; BETANCOURT; R. 2010. Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19 (2): 51-56

GAVILÁN, M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. España: Mundi-prensa. p 122.

GÓMEZ, R. 1999. Estudios para la recuperación de la fertilidad del suelo y conservación de su capacidad productiva a través del manejo del manejo integrado con énfasis en incorporación de materia orgánica y rotación de cultivos como alternativa de competitividad en la Hoya del Río Suárez. Barbosa, CORPOICA.

GUERRERO, R. 1994. Propiedades generales de los fertilizantes químicos, In Silva, F. (ed), *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá, Colombia. pp. 247 - 291.

GUERRERO, R. 1980. La recomendación de fertilidad, fundamentos y aplicaciones. En *Fertilidad de Suelo, diagnóstico y control* Bogotá SCCS. pp. 225-267.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1999. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.

HENRÍQUEZ, M.; PÉREZ, J.; GASCÓ, J.; RODRÍGUEZ, O. 2005. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en arena y caolín usando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio". Bioagro 17. (1): 59-62.

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, 112 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE LA REFORMA AGRARIA (INCORA). 1967. Proyecto Putumayo Nº 1. Samel Ingenieros. Bogotá Colombia

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI, 1990. Estudio general de suelos detallado de los municipio de Santiago, Colón, San Francisco, Sibundoy, Mocoa, Villa Garzón, Puerto Asís, Orito y parte del norte de la Hormiga

JARAMILLO J. 2001. Ciencia del suelo. Notas de calase, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. p 69.

JARAMILLO, DANIEL F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Medellín, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencia, escuela de geociencias. 613p.

JOJOA L. Y SILVA J. 2009. Determinación de los factores edafoclimáticos que afectan la productividad del pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* H) en condiciones naturales en la zona rural del municipio de Ipiales y el municipio de Aldana, Departamento de Nariño. Tesis de grado Zootecnista, Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad de Nariño.

KOLMANS, E.; VASQUEZ D.1996. Manual de agricultura ecológica, una introducción a los principios básicos y su aplicación, SIMAS. Managua Nicaragua. P 221.

LAL, R.1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics, soil management support services, soil conservation service, U.S. Department of Agriculture, The Ohio State University, Department of Agronomy, SMSS Technical Monograph Nº 21.

LEGARDA L.; GARCÍA R.; RUIZ H. 2002. Técnicas y aplicación del riego agrícola. Universidad de Nariño. Pasto Nariño. 136 p.

LEÓN, LUIS. 1994. Evaluación de la fertilidad del suelo, In Silva, F. (ed), Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá, Colombia. pp. 155 -186.

LÓPEZ, D.; HERNANDEZ, R.; y BROSSARD, M. 2005. Historia del uso reciente de tierras de las sabanas de América del sur. Estudios de casos en sabanas del Orinoco. INCI. 30 (10): 623-630.

LORA, RODRIGO. 2013. Propiedades químicas del suelo. Principios básicos, segunda edición. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. Bogotá, D.C. pp 143 – 207.

LORA, R. 1994. Factores que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas, In Silva, F. (ed), Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá, Colombia. pp. 30 - 55.

MONTENEGRO, H y MALAGÓN, D. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá, Ediciones IGAC, 1990. pp. 8-45; 619-759.

MONTENEGRO, H. 2003. Propiedades físicas de los suelos en relación con la fertilidad. En: Manejo integral de la fertilidad del suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá. pp 3-28.

MORA M, G; ORDAZ CH., *et al.* 2001. Sistema de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. Terra Latinoamericana, Vol 19, N° 001.. Chapingo – México. pp 67 - 74.

MORELL, F.; LÓPEZ, D.; HERNÁNDEZ, A.; BORGES, Y. 2010. Caracterización agrobiológica de los suelos pardos de la región de campo florido en relación con los cambios en el manejo agrícola. Cultivos Tropicales 31 (4). 70-75.

OBANDO, F. 2000. Indicadores de degradación estructural en suelos de agricultura intensiva del piedemonte llanero. En: Suelos Ecuatoriales. 30 (2): 167 – 178 pp.

OTERO, L.; ORTEGA, F.; MORALES, M. 1998. Participación de la arcilla y la materia orgánica en la capacidad de intercambio cationico, de Vertisoles de la provincia Granma. Terra Latinoamericana. 16 (3): 189-194.

PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE LA CUENCA ALTA DEL RIO PUTUMAYO. 2010, Corporación Autónoma para el desarrollo de la Amazonia (CorpoAmazonia), WWF y Asociación Ampora, 130 p.

PINZÓN, A.; FERNANDEZ, J.; PULIDO C. 2002. Evaluación de la porosidad del suelo por diferentes métodos. En: Suelos Ecuatoriales. 32 (302) 116 – 131.

PRECIADO, L. 1997 Influencia del tiempo de uso del suelo en las propiedades físicas en la productividad y sostenibilidad del cultivo de arroz en Casanare.

Palmira. Trabajo de grado Magíster Scientiae en conservación de suelos y aguas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrícolas, 111p.

RIBON CARRILLO, M; GARCIA SERGIO; PALMA DAVID. 2003. Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar. INCI.28 (3).

RODRÍGUEZ, J.; SEPÚLVEDA, I.; CAMARGO, J.; y GALVIS, J. 2008. Pérdidas de suelo y nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en la zona Andina de Colombia. Acta Agron. 58 (3): 160-166.

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

RUIZ, E HUGO y LEGARDA, LUCIO. 2000. Hacia el manejo de suelos de ladera para una agricultura sostenible. EN: Revista de Ciencias Agrícolas, Vol. XVII. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño,. pp. 331-339.

SALAMANCA, R. 1984. Suelos y Fertilizantes. Universidad Santo Tomas. Santa fe de Bogotá. 345 p.

SÁNCHEZ, G.; OBRADOR, J.; PALMA D.; SALGADO, S. 2003. Densidad aparente en un vertisol con diferentes agrosistemas. Red de revistas científicas de América Latina. 28 (6): 347 -351.

SANZANO, G.; CORBELLA, R.; GARCÍA, J y FADDA, G. 2005. Degradación física y química de un Haplustol típico bajo distintos sistemas de manejo de suelo. Cienc. Suelo. 23 (1): 93-100.

SORACCO, C. 2009. Persistencia del efecto del subsolado sobre el movimiento del agua en el suelo en siembra directa: Uso de dos modelos teóricos. Cienc. Suelo. 27 (1): 77- 87.

SORIANO S.M Y PONS M.V. 2004. Prácticas de edafología y climatología. México D. F: Alfaomega Grupo Editor. p 33, 35, 38.

SUSTAITA, R.; FIDENCIOORDAZ C.; ORTIZ, C.; LEÓN F. 2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. Agrociencia 34 (004): 379-386.

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.

TORRES, D.; RODRÍGUEZ, N.; YENDIS, H.; FLORENTINO A., ZAMORA, F. 2006. Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, Estado Falcon, Venezuela. *Bioagro*. 18 (2).

UNIGARRO, A y CARREÑO, M. 2005 Métodos químicos para el análisis de suelos. Pasto, Universidad de Nariño. pp. 9-32

UNIGARRO, A.; INSUASTY R.; CHAVEZ G. 2009. Manual de prácticas de laboratorio, Suelos generales. Universidad de Nariño. Pasto Nariño, p 125.

VALENZUELA, I.; TORRENTE, A. 2013. Física de suelos. Ciencia del suelo, Principios básicos, segunda edición. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. Bogotá, D.C. pp 143 – 207.

VAZQUEZ, M.; TERMINIELLO, A.; CASCIANI, A.; MILLAN, G.; GELATI, P.; GUILINO, F.; GARCÍA, J.; KOSTIRIA, J.; GARCÍA, M. 2010. Influencia del agregado de enmiendas básicas sobre la producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en ámbitos templados Argentinos. *Cienc. Suelo*. 28 (2): 141-154.

VAZQUEZ, M.; TERMINIELLO, A.; DUHOUR, A.; GARCÍA, M.; GUILINO, F. 2009. Efecto del encalado sobre propiedades físicas de un suelo de la pradera Pampeana: Asociación con propiedades químicas. *Cienc. Suelo*. 27 (1): 67-76.

VELÁSQUEZ, H.; JUAN CARLOS MENJIVAR, JUAN.; ESCOBARC. 2007. Identificación de suelos susceptibles a riesgos de erosión y con mayor capacidad de almacenamiento de agua. *Acta Agron*. 56 (3).

ANEXOS

Anexo A. Encuesta dirigida a agricultores de productores de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L) con relevo maíz (*Zea mays*) del municipio de Sibundoy

OBJETIVO: Recopilar la información necesaria para el desarrollo de la investigación: EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN SUELO AERIC TROPIC FLUVAQUENTS SOMETIDO A DIFERENTES TIEMPOS DE USOS EN EL SISTEMA FRÍJOL VOLUBLE (*Phaseolus vulgaris* L) CON RELEVO MAÍZ (*Zea mays*).

Encuesta N° _____
Fecha _____

DATOS GEOGRAFICOS

Finca _____
Área N° (Has) _____
Coordenadas _____
Vereda _____
Municipio _____
Departamento _____

IDENTIFICACIÓN DEL ENCUESTADO.

Nombre y Apellido _____ Edad _____
Propietario () Arrendatario () Otro () _____

Área en hectáreas dedicada al cultivo de fríjol con relevo maíz: 1- 3 () 3-5 () 5-10 () más de 10 ()

Pertenece usted a alguna organización. SI () NO ()

Cuál ? _____

Su organización le ofrece servicios de: Capacitación técnica () Administración ()
Mercadeo () Otro ()

¿Cuál? _____

Hace cuantos años siembra fríjol en su finca

¿Hace renovación del cultivo? SI () NO ()

¿Por qué? _____

Hace rotación de cultivos en el área dedicada a fríjol? SI () NO () ¿Con cuáles?

¿Con el paso de los años cómo es el comportamiento de los rendimientos de fríjol?

¿A qué causas le define ese comportamiento?

Como son los costos en un lote nuevo con relación a un lote viejo dedicado a cultivar fríjol?

Altos () Medio () Bajos ()

ASPECTOS TÉCNICOS DEL CULTIVO

Realiza análisis de suelos en áreas dedicadas al cultivo de fríjol? SI () NO () ¿Por qué?

Para el establecimiento del cultivo que tipo de labranza utiliza y por qué?

Labores que realiza al suelo antes y después de sembrar fríjol

¿Cómo controla las malezas?

Aplica enmiendas SI () NO () Porque?

En caso de ser afirmativo:

NOMBRE	DOSIS DE APLICACIÓN	SISTEMA DE APLICACIÓN	EPOCA DE APLICACIÓN

¿Aplica fertilizantes al cultivo? SI () NO ()

NOMBRE	DOSIS DE APLICACIÓN	SISTEMA DE APLICACIÓN	EPOCA DE APLICACIÓN

Variedades que siembra y área total.

MAIZ	AREÁ	FRÍJOL	AREÁ

¿Qué cantidad de semilla usa por cada variedad sembrada?

¿De dónde obtiene la semilla?

Realiza algún tratamiento a la semilla? SI () NO () Cual?

¿Cuál es la distancia entre surcos y plantas que utiliza al sembrar frijol?
_____ metros.

¿Qué tipo de plagas se presentan en el cultivo

¿En qué épocas?

¿Qué control le da?

¿Qué tipo de enfermedades se presentan en el cultivo?

¿En que épocas?

¿Qué control le da?

¿Qué sugerencias hace para poder mejorar el manejo del cultivo?

MUCHAS GRACIAS

Anexo B. Resistencia a la penetración (Mpa)

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

Fuente: Lal (1994).

Anexo C. Promedio por lote de la resistencia a la penetración en Mpa y humedad gravimétrica (%) al momento del muestreo, en función del tiempo de uso del suelo bajo monocultivo de frijol relevo maíz.

BOSQUE	REPETICIÓN 1		2		3	
Profundidad	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)
0	0,625	15	0,7	5	0,475	12
5	0,8	17	0,85	10	0,575	17
10	0,8	19	0,925	13	0,6	21
15	0,8	25	0,975	19	0,675	24
20	0,875	30	0,775	28	0,725	27
25	0,875	35	0,7	31	0,625	29
2 AÑOS	1		2		3	
Profundidad	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)
0	0,75	15	0,5	21	0,525	12
5	0,725	17	0,65	23	0,675	15
10	0,75	20	0,75	27	0,775	17
15	0,875	23	0,875	30	0,85	22
20	0,775	26	0,825	35	0,975	26
25	0,825	31	0,875	43	0,975	35
4 AÑOS	1		2		3	
Profundidad	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)
0	0,675	23	0,75	14	0,45	11
5	0,775	26	0,95	17	0,575	14
10	0,75	28	0,95	19	0,625	17
15	0,825	30	0,85	21	0,775	18
20	0,875	32	0,85	23	0,825	20
25	0,925	31	0,975	25	0,875	23
6 AÑOS	1		2		3	
Profundidad	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)
0	0,525	13	0,875	11	0,875	9
5	0,725	18	1	15	1,075	14
10	0,85	22	1	19	1,05	16
15	0,9	24	1,025	23	1,05	21
20	0,975	26	1,025	28	1	23
25	0,975	28	0,95	30	0,925	24
8 AÑOS	1		2		3	
Profundidad	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)
0	1,05	8	1,825	13	1,225	20
5	1,175	14	1,7	16	1,3	21
10	1,175	19	1,8	18	1,425	23
15	1,325	20	1,9	21	1,55	25
20	1,325	25	2,05	23	1,575	28
25	1,225	27	2,075	25	1,575	32

12 AÑOS	1		2		3	
Profundidad	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)
0	1,475	18	1,425	15	1	18
5	1,625	25	1,6	13	1,15	20
10	1,625	27	7,325	17	1,325	24
15	1,55	32	1,75	20	1,625	25
20	1,475	37	1,8	23	1,6	27
25	0,825	31	1,7	26	1,625	29
15 AÑOS	1		2		3	
Profundidad	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)
0	1,075	24	0,675	27	1,025	15
5	1,125	26	0,85	29	1,25	21
10	1,2	27	1,075	31	1,45	25
15	1,475	29	1,375	32	1,8	31
20	1,6	30	1,325	35	1,825	35
25	1,875	38	1,35	39	1,625	37
18 AÑOS	1		2		3	
Profundidad	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)
0	1,7	25	1,875	16	1,225	13
5	1,975	27	2,175	23	1,45	19
10	1,925	33	2,175	27	1,5	23
15	2,125	37	2,175	29	1,85	29
20	1,9	41	2,125	31	1,8	33
25	1,925	47	1,75	34	1,775	35
20 AÑOS	1		2		3	
Profundidad	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)	Promedio Mpa	Humedad (%)
0	1,425	21	1,375	18	1,35	21
5	1,7	24	1,575	26	1,6	23
10	1,7	27	1,85	30	1,775	25
15	1,95	31	2,175	33	1,925	28
20	1,95	33	2,225	35	1,925	33
25	1,825	37	2,075	39	1,825	41

Anexo D. Clasificación de la conductividad hidráulica

Conductividad Hidráulica	
cm/hora	Interpretación
< 0.1	Muy lenta
0.1 – 0.5	Lenta
0.5 – 1.6	Moderadamente lenta
1.6 – 5.0	Moderada
5.0 – 12	Moderadamente rápida
12 – 18	Rápida
> 18	Muy rápida

Fuente: IGAC (1990)

Anexo E. Niveles críticos para materia orgánica en los suelos.

INTERPRETACIÓN (%)			
Clima	Bajo	Medio	Alta
Frio	< 5	5 – 10	> 10
Medio	< 3	3 - 5	> 5
Cálido	< 1.5	1.5 - 3	> 3

Fuente: Castro y Gómez (2013).

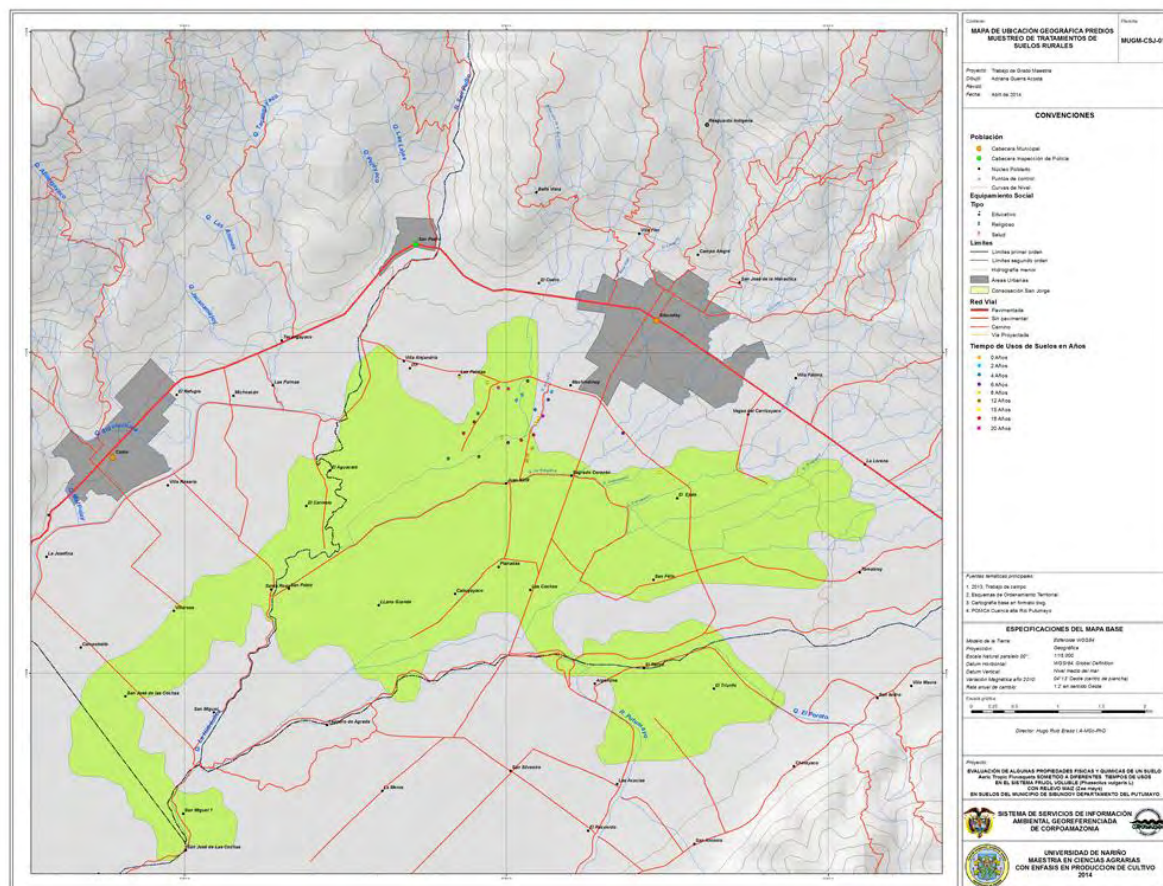
Anexo F. Cálculo del coeficiente de variación para la selección de las variables de mayor peso estadístico.

	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación	100%
pH, Potenciómetro: suelo: agua (1:1)	5,43	,29	0,053	5,344345
Materia Orgánica	5,99	1,91	0,319	31,91597
Fósforo disponible	36,89	20,82	0,564	56,44136
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC)	20,86	4,66	0,223	22,33429
Calcio de Cambio	4,97	3,57	0,719	71,90927
Magnesio de Cambio	0,57	,47	0,828	82,82834
Potasio de Cambio	0,38	,18	0,473	47,29272
Nitrógeno Total	0,23	,07	0,311	31,06413
Carbono Orgánico	3,48	1,11	0,319	31,85012
Ca:Mg	9,48	4,28	0,451	45,13222
Mg:K	1,41	,61	0,429	42,93158
K:Mg	0,82	,29	0,361	36,0917
Ca:K	13,18	6,97	0,529	52,87311
(Ca+Mg)/K	14,59	7,28	0,499	49,89597
Porcentaje de arenas (%)	69,41	9,92	0,143	14,29779
Porcentaje de limos (%)	18,33	6,03	0,329	32,91235
Porcentaje de arcillas (%)	12,26	6,75	0,551	55,09017
Densidad Aparente	0,58	,07	0,118	11,79431
Densidad Real	2,40	,15	0,063	6,323757
Porosidad %	74,48	4,12	0,055	5,525228
Microporosidad	28,25	6,66	0,236	23,55862
Macroporosidad	15,16	2,60	0,172	17,16811
Mesoporosidad	6,62	4,39	0,664	66,35522
Estabilidad de agregados (Yoder)	2,24	,13	0,060	5,979509
Distribución de agregados (Shaker)	1,93	,73	0,377	37,65739
Humedad gravimétrica % (s)	73,43	9,31	0,127	12,67979
Humedad volumétrica % (s)	55,12	6,90	0,125	12,51263

Anexo G. Agrupamiento de los suelos con base en los promedios y desviación estándar de las variables más sobresalientes.

GRUPO	PROMEDIO		DESV. ESTÁNDAR		VARIABLES QUE CARACTERIZAN EL GRUPO
	Grupo	General	Grupo	General	
1	1.32	0.57	0.58	0.46	Magnesio de cambio
	2.43	1.41	0.66	0.59	Relación Mg:K
	10.41	4.97	2.90	3.51	Calcio de cambio
	35.03	28.25	1.85	6.53	Microporosidad
	21.68	15.59	3.68	7.14	Relación (Ca+Mg)/K
	0.56	0.38	0.19	0.18	Potasio de cambio
	2.04	6.62	1.67	4.31	Mesoporosidad
	0.46	0.82	0.12	0.29	Relación K:Mg
	1184.40	2424.33	1452.78	909.14	Productividad
2	1.06	0.82	0.27	0.29	K:Mg
	6.59	13.18	2.28	6.84	Ca:K
	7.59	14.59	2.36	7.14	(Ca+Mg)/K
3	14.79	9.48	3.22	4.20	Ca:Mg
4	11.48	6.62	2.62	4.31	Mesoporosidad
	17.06	15.16	1.91	2.55	Macroporosidad
	2.41	4.97	1.03	3.51	Ca
	4.61	5.99	0.88	1.88	Materia orgánica
	2.67	3.48	0.51	1.09	Carbono orgánico
	0.18	0.23	0.04	0.07	Nitrógeno total
	1.36	1.93	0.51	0.71	Distribución de agregados
	0.22	0.38	0.05	0.18	Potasio de cambio
	16.41	20.86	2.36	4.57	CIC
	21.64	28.23	4.47	6.53	Microporosidad

Anexo H. Plano Zona de Estudio



Anexo I. Coordenadas sitios de muestreo

Tiempo Uso Años	Propietario	Ubicación	Coordenadas		Long
			X_Plana	Y_Plana	
0	Clementina Mueses (Bosque 1)	Las Palmas	623212,109287	1016286,68636	76° 55' 52,216" W
0	María Tránsito Chicunque (Bosque 2)	Las Palmas	623275,800920	1016293,58334	76° 55' 51,992" W
0	Artesanías (Bosque 3)	Las Palmas	623354,754299	1016345,22050	76° 55' 50,322" W
2	Ernesto Rodríguez	Las Palmas	623908,504696	1016160,55122	76° 55' 56,294" W
2	Benigno Jojoa	Las Palmas	623970,762101	1016228,77224	76° 55' 54,088" W
2	Alonso Rojas	Sagrado Corazón	624004,395169	1016568,44516	76° 55' 43,100" W
4	Hernando Gómez	Las Palmas	623237,605289	1015377,28515	76° 56' 21,631" W
4	Rosalba Rivera	Palmas Bajas	623755,556349	1015719,60515	76° 56' 10,558" W
4	José Duarte Luna	Las Palmas	623800,042147	1016379,47587	76° 55' 49,213" W
6	Ángel Mejía	Sotanjóy	623422,964489	1016067,64469	76° 55' 59,300" W
6	Felipe Toro	Sagrado Corazón	623915,380215	1016532,05625	76° 55' 44,278" W
6	German Josa	Sagrado Corazón	623527,751364	1017391,83859	76° 55' 16,468" W
8	Segundo Goyes	Sotanjóy	624177,279141	1015511,90573	76° 56' 17,275" W
8	Ignacio Burbano España	Vereda las Palmas	624114,599342	1015828,99037	76° 56' 7,019" W
8	Jorge López	Sotanjóy	623481,675952	1015992,62815	76° 56' 1,727" W
12	Mauro Enrique Narváez	Palmas Bajas	623659,353712	1015674,64656	76° 56' 12,012" W
12	Luis Dorado	Palmas Bajas	623259,959337	1015730,53757	76° 56' 10,205" W
12	Salvador Chasoy	Las Palmas	624129,661976	1016293,09272	76° 55' 52,007" W
15	Luis de la Cruz	Sagrado corazón	623703,622372	1016411,86813	76° 55' 48,166" W
15	Josué Rosero	Sagrado Corazón	623643,136111	1016380,70852	76° 55' 49,174" W
15	Samuel Burbano	San Félix	623083,152958	1017817,34901	76° 55' 2,705" W
18	Maximino Moncayo	Palmas bajas	623528,647787	1015553,56329	76° 56' 15,929" W
18	Luis Alfonso Jacanamejoy	Sotanjóy	623451,058460	1016217,67018	76° 55' 54,448" W
18	Luis Alfonso Jacanamejoy	Sotanjóy	623511,440182	1016362,79691	76° 55' 49,753" W
20	Edwar Díaz	Palmas Bajas	624052,130924	1015954,20131	76° 56' 2,969" W
20	Eduardo Díaz	Palmas Bajas	624041,632350	1016069,83814	76° 55' 59,228" W
20	Felipe Toro	Sagrado Corazón	623727,288671	1016471,85534	76° 55' 46,225" W