

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 18 de marzo del 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

John Alexander Quintero Cruz, con C.C. No. 1078777661

Gianmarco Cuellar Guzmán, con C.C. No. 1075301616

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado Evaluación de la leguminosa *arachis pintoii* y la gramínea *dichantium aristatum* para determinar su influencia en la calidad de un suelo en el municipio de Baraya-Huila presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola; Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Giannmarco Cuellar Guzmán

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
QUINTERO CRUZ	JOHN ALEXANDER
CUELLAR GUZMÁN	GIANMARCO

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
ARÉVALO HERNANDEZ	JOHN JAIRO

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRÍCOLA

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERÍA AGRÍCOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2019

NÚMERO DE PÁGINAS: 107

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos Ilustraciones en general ___ Grabados ___ Láminas ___
Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas o
Cuadros

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 4
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Adobe Reader, Microsoft Office

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español

Inglés

- | | |
|---------------------------|-------------------|
| 1. Cobertura vegetal | Cover Crop |
| 2. Indicadores de calidad | Soil indicators |
| 3. Conservación de suelos | Soil conservation |
| 4. Gramínea | grass |
| 5. Leguminosa | Legume |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)



El proyecto de investigación se desarrolló en la finca Caballeriza a 11 km de la cabecera del municipio de Baraya -Huila. El objetivo principal del proyecto evaluó la leguminosa *Arachis Pintoi* y la gramínea *Dichantium Aristatum* como coberturas vivas y se determinó su influencia en el mejoramiento de la calidad del suelo. Para evaluar la influencia de estas coberturas vivas se analizaron indicadores físicos del suelo como; densidad aparente, densidad real, velocidad de infiltración, y estabilidad de los agregados, como indicadores químicos el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico, para finalizar se analizó indicadores biológicas como el porcentaje de materia orgánica y respiración del suelo.

El trabajo de campo se llevó a cabo durante 8 meses. Las unidades experimentales correspondientes al Maní forrajero T1 y al Pasto angleton T2 y un testigo suelo desnudo T0, se distribuyeron en campo en un diseño de bloques completos al azar, constituido por 3 bloques, 3 tratamientos y 3 repeticiones. Como resultados, se obtuvo con un nivel del 95% de confianza diferencias significativas en algunas propiedades físicas, como infiltración básica entre el T1 y el T0, y en estabilidad de los agregados tanto el T1 y T2 con el T0, en cuanto a las demás propiedades evaluadas no presentaron diferencias significativas. Por otro lado, en las propiedades químicas se presentó una diferencia significativa solo en la evaluación de la materia orgánica entre el tratamiento T2 y el T0.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The research was developed on the Caballeriza farm at 11 km from Baraya – Huila. The main objective evaluated the legume *Arachis Pintoi* and the grass *Dichantium Aristatum* as cover crop. In addition, its influence on soil quality was determined. In order to evaluate the influence of these cover crops, physical soil indicators were analyzed as: apparent density, real density, infiltration rate, stability of aggregates. The chemical indicators analyzed were: pH, electric conductivity and the cation exchange capacity and the biological indicators used were: organic matter and soil biological activity.

The fieldwork was developed during 8 months. The experimental units corresponding to the legume T1, the grass T2 and the control T0, it`s were distributed in field in randomized complete block design (RCB). The experimental design consisted of 3 blocks, 3 treatments and 3 repetitions. The results showed that of infiltration rate were significant ($p \leq 0.05$) for T1 against T0, and the aggregate stability were significant ($p \leq 0.05$) for T1 and T2 against T0. The other physical indicators of the soil were not significant for the cover crops. Whereas for chemical properties only were significant differences ($p \leq 0.05$) for matter organic, T2 against T0.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 4
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

APROBACION DE LA TESIS

MsC. John Jairo Arévalo Hernández

Firma del Director del Proyecto

MsC. Edison Mujica Rodríguez

Firma del Jurado

MsC. Jennifer Katusca Castro Camacho

Firma del Jurado

EVALUACIÓN DE LA LEGUMINOSA *Arachis pintoi* Y LA GRAMÍNEA *Dichanthium aristatum*, PARA DETERMINAR SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE UN SUELO EN EL MUNICIPIO DE BARAYA-HUILA

JOHN ALEXANDER QUINTERO CRUZ. Cód.: 20132121892
GIANMARCO CUELLAR GUZMAN. Cód.: 20132122047

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA
2018

EVALUACIÓN DE LA LEGUMINOSA *Arachis pintoi* Y LA GRAMÍNEA *Dichanthium aristatum*, PARA DETERMINAR SU INFLUENCIA EN LACALIDAD DE UN SUELO EN EL MUNICIPIO DE BARAYA-HUILA

Autores:

JOHN ALEXANDER QUINTERO CRUZ. Cód.: 20132121892
GIANMARCO CUELLAR GUZMAN. Cód.: 20132122047

Trabajo de grado presentado a la Universidad Surcolombiana

Como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Director: JOHN JAIRO ARÉVALO HERNÁNDEZ

Línea de Investigación: ADECUACIÓN DE TIERRAS

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA
2018

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

Agradecemos profundamente a nuestros padres, hermanos y demás familia, a compañeros de nuestra carrera universitaria y de otras carreras quienes colaboraron con esto, a nuestro director de grado por su paciencia y apoyo motivacional y finalmente a quienes decidieron ser jurados de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVOS	15
2. MARCO TEORICO	16
2.1. Suelo.....	16
2.2. Salud y calidad del suelo.....	17
2.3 Indicadores de calidad del suelo.....	20
2.3.1 Indicadores físicos.....	21
2.3.2 Indicadores químicos.....	22
2.3.3 Indicadores biológicos.....	22
2.4. Cultivos de cobertura.....	23
2.4.1 Maní forrajero.....	26
2.4.2 Pasto angleton.....	28
3. MATERIALES Y METODOS	30
3.1. Localización de la zona de estudio.....	30
3.2. Diseño metodológico.....	31
3.3. Variables analizadas.....	33
3.3.1. Densidad aparente.....	34
3.3.2. Densidad real.....	35
3.3.3. Capacidad de infiltración.....	36
3.3.4. Estabilidad estructural de los agregados.....	37
3.3.5. pH.....	37
3.3.6. Conductividad Eléctrica.....	38
3.3.7. Materia Orgánica.....	38
3.3.8. Capacidad de intercambio catiónico.....	39
3.3.9. Respiración basal del suelo.....	40

3.4. Análisis de la información.....	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1. Densidad aparente.....	42
4.2. Densidad real.....	46
4.3. Capacidad de infiltración.....	48
4.4. Estabilidad estructural de los agregados.....	52
4.5. pH.....	55
4.6. Conductividad Eléctrica.....	57
4.7. Materia Orgánica.....	58
4.8. Capacidad de intercambio catiónico.....	62
4.9. Respiración basal del suelo.....	64
4.10. Evaluación de la calidad del suelo	67
5. CONCLUSIONES.....	69
6. RECOMENDACIONES.....	70
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	71
8. ANEXOS.....	81
8.1 Anexo 1. Gráficos de Medias para los cultivos de cobertura mediante el método de Tukey HSD.....	81
8.2 Anexo 2. Análisis estadístico entre tratamientos para las propiedades evaluadas.....	86
8.3 Anexo 3. Tablas de análisis de varianza de los tratamientos con respecto al tiempo.....	99
8.4 Anexo 4. Tablas de puntuación de propiedades del suelo.....	104

Lista de Tablas

Tabla 1. Propiedades a evaluar durante la investigación.....	<u>29</u>
Tabla 2. Valores promedios obtenidos para la densidad aparente y rangos múltiples.....	<u>37</u>
Tabla 3. Valores promedios obtenidos para la densidad real y rangos múltiples.....	<u>41</u>
Tabla 4. Valores promedios obtenidos para la IB y rangos múltiples.....	<u>43</u>
Tabla 5. Valores promedios obtenidos para estabilidad EA y rangos múltiples.....	<u>47</u>
Tabla 6. Valores promedios obtenidos para pH y rangos múltiples.....	<u>50</u>
Tabla 7. Valores promedios obtenidos para la CE y rangos múltiples.....	<u>52</u>
Tabla 8. Resultados promedios de M.O y rangos múltiples	<u>54</u>
Tabla 9. Resultados promedios de CIC y rangos múltiples.....	<u>58</u>
Tabla 10. Resultados promedios de RB del suelo y rangos múltiples.....	<u>60</u>

Lista de Figuras

Figura 1. Indicadores de calidad de suelo.....	<u>21</u>
Figura 2. Funciones de un cultivo de cobertura.....	<u>25</u>
Figura 3. Planta de maní forrajero.....	<u>27</u>
Figura 4. Pasto angleton.....	<u>29</u>
Figura 5. Georreferenciación del área de estudio en Google Earth.....	<u>30</u>
Figura 6. Recorrido de Baraya a la finca caballeriza.....	<u>30</u>
Figura 7. Diseño experimental de la investigación.....	<u>32</u>
Figura 8. Comportamiento de la densidad aparente durante el periodo de evaluación.....	<u>43</u>
Figura 9. Comportamiento de la IB durante el periodo de evaluación.....	<u>50</u>
Figura 10. Comportamiento de la EA durante el periodo de evaluación.....	<u>53</u>
Figura 11. Comportamiento de la materia orgánica durante el periodo de evaluación.....	<u>59</u>

RESUMEN

El proyecto de investigación se desarrolló en la finca Caballeriza a 11 km de la cabecera del municipio de Baraya -Huila. El objetivo principal del proyecto evaluó la leguminosa *Arachis Pintoi* y la gramínea *Dichantium Aristatum* como coberturas vivas y se determinó su influencia en el mejoramiento de la calidad del suelo. Los cultivos de cobertura se caracterizan por su influencia positiva en la conservación de suelo y agua, mejora las propiedades físicas y químicas y aumenta la actividad biológica del suelo. Para evaluar la influencia de estas coberturas vivas se analizaron indicadores físicos del suelo como; densidad aparente, densidad real, velocidad de infiltración, y estabilidad de los agregados, como indicadores químicos el pH, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico, para finalizar se analizó indicadores biológicas como el porcentaje de materia orgánica y respiración del suelo.

El trabajo de campo se llevó a cabo durante 8 meses. Las unidades experimentales correspondientes al Maní forrajero T1 y al Pasto angleton T2 y un testigo suelo desnudo T0, se distribuyeron en campo en un diseño de bloques completos al azar, constituido por 3 bloques, 3 tratamientos y 3 repeticiones. Como resultados, se obtuvo con un nivel del 95% de confianza diferencias significativas en algunas propiedades físicas, como infiltración básica entre el T1 y el T0, y en estabilidad de los agregados tanto el T1 y T2 con el T0, en cuanto a las demás propiedades evaluadas no presentaron diferencias significativas. Por otro lado, en las propiedades químicas se presentó una diferencia significativa solo en la evaluación de la materia orgánica entre el tratamiento T2 y el T0.

Palabras clave: *Cobertura vegetal, indicadores del suelo, conservación del suelo.*

ABSTRACT

The research was developed on the Caballeriza farm at 11 km from Baraya – Huila. The main objective evaluated the legume *Arachis Pintoi* and the grass *Dichantium Aristatum* as cover crop. In addition, its influence on soil quality was determined. The cover crops are characterized by positive influence on soil and water conservation, improve the physical and chemical properties and increase the biological activity of the soil. In order to evaluate the influence of these cover crops, physical soil indicators were analyzed as: apparent density, real density, infiltration rate, stability of aggregates. The chemical indicators analyzed were: pH, electric conductivity and the cation exchange capacity and the biological indicators used were: organic matter and soil biological activity.

The fieldwork was developed during 8 months. The experimental units corresponding to the legume T1, the grass T2 and the control T0, it`s were distributed in field in randomized complete block design (RCB). The experimental design consisted of 3 blocks, 3 treatments and 3 repetitions. The results showed that of infiltration rate were significant ($p \leq 0.05$) for T1 against T0, and the aggregate stability were significant ($p \leq 0.05$) for T1 and T2 against T0. The other physical indicators of the soil were not significant for the cover crops. Whereas for chemical properties only were significant differences ($p \leq 0.05$) for matter organic, T2 against T0.

KeyWords: *Cover crops, soil indicators, soil conservation.*

INTRODUCCION

A partir del siglo XX, la agricultura empezó a realizarse de forma intensiva con el fin de obtener buenos rendimientos, mediante prácticas como el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos, el monocultivo, la quema de residuos de cosecha, la ampliación de la frontera agrícola, la compactación por ganadería y otras malos hábitos, que aun en la actualidad persisten; estas han originado cambios físicos y químicos en el suelo, inclusive provocando la degradación de estos, y la contaminación de los recursos agua y atmósfera (Parra y colaboradores., 2014; Pinzón & Amezquita, 1991). La disminución y pérdida de la actividad biológica, también está relacionado con la perturbación del equilibrio del suelo. La degradación afecta principalmente los suelos desnudos, en donde la erosión acelerada sigue siendo el principal desafío que está afectando negativamente el rendimiento agrícola en el mundo (Ademe, 2017), dejando como consecuencias: suelos sin vegetación, con estructura débil, pobres en materia orgánica y nutrientes (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA, 2008). Además, en regiones tropicales, los suelos presentan características específicas debido a su clima cálido, es así, que en los mismos ocurren transformaciones mineralógicas, orgánicas y de degradación de forma más energética que en otros lugares (Hernández y colaboradores., 2013; Morell & Hernandez, 2008), por ende se deben establecer acciones para un manejo adecuado, buscando conservar la salud y calidad de los mismos.

Reconociendo que el suelo es un recurso muy importante en la agricultura, el cual se considera como finito y que se degrada fácilmente; muchas regiones como África y Brasil, en los últimos 20 años, apuntan hacia un manejo eficiente del suelo, tratando de lograr y crear

agro sistemas balanceados, sostenibles y productivos (Hernández y colaboradores., 2013). Actualmente existe la tendencia hacia una agricultura conservacionista, en donde se busca un equilibrio entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En donde la diversidad agrícola, vuelve a ser importante, considerando de gran importancia a las especies que habitan en un ecosistema, como las plantas, animales y microorganismos; siendo estos últimos, utilizados en agro ecosistemas para la producción de alimentos, debido a diferentes procesos energéticos que desarrollan; como el control natural de organismos patógenos, el reciclaje de nutrientes mediante la descomposición de la materia orgánica, entre otros. Por consiguiente, es la biodiversidad una estrategia para alcanzar ecosistemas balanceados y permitir que sistemas agrícolas afectados puedan combatir problemas de producción y sostenibilidad (Yong y Leiva, 2010).

Entonces se dice que la sustentabilidad de los sistemas agrícolas está dado por el manejo y mantenimiento de la productividad de los suelos a través de la recuperación, y sostenimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos; estas en gran medida reguladas por la biodiversidad de la micro y macro fauna que lo habitan, por su capacidad de reciclaje de los recursos orgánicos y demás actividades que desarrollan, que en gran medida deben ser favorecidas por las acciones de manejo que se realicen en campo (Morell & Hernandez, 2008).

Igualmente, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2015) reconoce a la cobertura permanente del suelo como un principio de la agricultura de conservación, en donde se busca una agricultura sostenible, rentable y dirigida al mejoramiento del sustento de los agricultores. De acuerdo con Vallejo (2013) la

sostenibilidad ambiental se alcanza a través del mantenimiento y del mejoramiento de la calidad y salud del suelo, y las coberturas vegetales son una manera sencilla que pueden influenciar de manera positiva en el mejoramiento de la mismas (Zwart y *colaboradores.*, 2005). Los cultivos de cobertura se presentan como una alternativa y están caracterizados por sus diversas funciones y multipropósitos, los cuales incluyen la conservación de suelo y agua, sirven a la vez como enmiendas para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, así como para controlar la erosión, aumentar la actividad biológica del suelo, mejorar la fertilidad, mejorar la estructura, también se emplean para: recuperar suelos degradados, supresión de malezas, control de plagas y enfermedades y en la alimentación humana y animal (Buckles & Barreto, 1996). Una vez establecidos los cultivos de cobertura, en especial las leguminosas, tienen un alto potencial para mejorar las condiciones físicas y químicas de los suelos (Rincón, 1992), además, ofrecen un hábitat ideal para la macro y micro fauna del suelo, contribuyendo a su aumento y a mejorar la salud del mismo (López y Vega, 2004).

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE a través de la Encuesta Nacional Agropecuaria ENA en 2016, el departamento del Huila cuenta una participación en producción de ganado vacuno del 1,6% con 366.419 bovinos ante una producción nacional de 22.923.826 cabezas de ganado. Es una de las principales causas que influyen de manera negativa en el manejo sostenible del suelo, generando problemas de pérdida de cobertura vegetal, compactación y erosión, en el mismo sentido Marin y *colaboradores* (2017) manifiestan la preocupación por la problemática ambiental que ha generado la ganadería extensiva en Colombia, principalmente dada por un sistema agrícola tradicional como la utilización de grandes extensiones de tierras para el pastoreo de los

mismos, una realidad que viene afectando de forma acelerada las propiedades fisicoquímicas de los suelos, también causando consecuencias en el paisaje, ríos y en general toda la biodiversidad.

El suelo utilizado en esta investigación posee como antecedentes el uso para la ganadería extensiva, en donde se encontró un suelo compacto y pobre en materia orgánica, con poca vocación para desarrollar agricultura, estando dentro de un rango crítico que puede afectar el crecimiento de raíces y por consiguiente un desarrollo no óptimo de las plantas.

Aunque existan diferentes maneras para tratar y dar solución a los problemas presentes en este suelo; la leguminosa *Arachis pintoi* se presenta como una alternativa agroecológica para ser evaluada en el aporte de beneficios en la salud del suelo, mediante el mejoramiento de algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Puesto que se ha demostrado que la misma cobertura contribuyen a la fertilidad del suelo, mejora la agregación, incrementa la porosidad, mejora la infiltración, reduce la erosión, disminuye la escorrentía, aumenta la diversidad biológica y poseen entre el 15 – 20% de proteínas para el consumo animal, sirviendo como suplemento alimenticio mientras mejora la calidad del suelo naturalmente, además causando un impacto positivo en la economía del productor.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la leguminosa *Arachis pintoii* y la gramínea *Dichantium aristatum*, como coberturas vegetales vivas, para determinar su influencia en el mejoramiento de la calidad de un suelo, en el municipio de Baraya-Huila

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer relaciones entre el cambio de algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a través del tiempo con las coberturas vegetales a evaluar.
- Determinar si las coberturas vegetales a evaluar pueden emplearse para el mejoramiento o recuperación de la calidad de un suelo.
- Determinar cuál es la cobertura vegetal que aporta los mejores beneficios en la calidad del suelo.
- Cuantificar la producción de biomasa producida por cada cobertura vegetal.

2. MARCO TEORICO

2.1 SUELO

El suelo es un recurso natural esencial para la vida en el que se presentan transformaciones producto de interacciones de diferentes actividades y procesos físicos, químicos, biológicos y antrópicos. Todos estos se dan de manera simultánea actuando sobre la roca originaria y con el paso del tiempo creando un sustrato en el cual se encuentran nutrientes, agua, aire y sostén para el desarrollo de plantas terrestres y demás biota que se pueda generar allí (Abi Saab, 2012).

Existen diferentes factores que influyen sobre la formación del suelo, estos son: material parental, tiempo, clima, organismos y relieve. Estos determinando las características de cada suelo. Además, se deben tomar en consideración en cualquier estudio de suelos (Abi Saab, 2012).

Un suelo ideal desde el punto de vista agrícola se encuentra constituido por 45% de minerales, 5% de materia orgánica y 50% de espacio poroso (la mitad de este lleno de aire y la otra de agua). Siendo función de este, el hábitat de numerosos organismos, sostén y fuente de nutrientes, participe de procesos como la mineralización, reciclaje, flujo de nutrientes y regulador de parte del ciclo hídrico y del clima. (Gliessman, 2002).

Se considera como un recurso muy importante por todas las actividades que se generan sobre este, por ejemplo la producción de alimentos en el mundo depende en un gran porcentaje del suelo, siendo base fundamental para sistemas agrícolas, forestales y pecuarios (García & Sánchez, 2012). Igualmente, el suelo es considerado como un recurso finito y depende en gran medida de las características predominantes del lugar y del manejo, en donde se puede

llegar a perder a largo plazo la función y la productividad en los ecosistemas y en este punto el suelo no puede recuperarse sin ayuda, proceso conocido como degradación (Gonzales *et al.*, 2009).

Entonces, conociendo que el suelo está sujeto a la alteración, ya sea de manera positiva (manejado responsablemente) o negativa (degradación), es importante conocer el estado actual del suelo para determinar la calidad de este recurso en los sistemas productivos, esto se hace mediante unos medidores denominados indicadores de calidad del suelo, que son una herramienta para la toma de decisiones (Gliessman, 2002; García & Sánchez, 2012).

2.2. SALUD Y CALIDAD DEL SUELO

Considerar el suelo como un ser vivo ha cobrado relevancia en los últimos años, investigadores se han enfocado en tratar de diagnosticar y buscar soluciones a los problemas frecuentes en el suelo, los mismos causados por factores naturales o, en mayor medida, antrópicos. Es así, que se han retomado o gestado nuevas acciones para hacerle frente a estos problemas de degradación, mediante el establecimiento de agro ecosistemas diversos, balanceados y sostenibles, en donde se busca que su actor principal, el suelo, sea productivo, a través de la sustentabilidad de la calidad y salud del mismo.

La calidad y salud del suelo son conceptos equivalentes, que están relacionados con términos como la fertilidad, productividad, sostenibilidad y calidad. Sin embargo, la calidad hace referencia a la utilidad del suelo con una finalidad específica en una escala amplia de tiempo

y la salud está relacionada con el estado de las propiedades dinámicas, como la materia orgánica; la cantidad, diversidad y productos de microorganismos en un tiempo en particular (Cruz y colaboradores., 2004).

En el mismo sentido, Cruz y colaboradores., (2004) menciona como objetivos para la agricultura, el de intensificar, preservar e incrementar la calidad del suelo. La calidad del suelo es un instrumento que sirve para evaluar y comprender la utilidad y salud de este, mediante la observación de las propiedades que influyen de manera directa en el crecimiento y producción de las plantas, de este modo los indicadores evaluados permiten obtener resultados de manera sencilla, oportuna y confiable sobre procesos de degradación que se estén presentando. Entonces, la calidad del suelo evalúa la salud del mismo, mediante algunos indicadores físicos, químicos y biológicos, como, la entrada de agua por medio de la superficie al suelo, la facilidad de las raíces para penetrar el suelo, la actividad biológica, rasgos de erosión, presencia y porcentaje de cobertura (Obando & Tobasura, 2012).

Del mismo modo la FAO (2000) manifiesta que la salud del suelo es la capacidad que tiene para funcionar como un sistema vivo. Los suelos sanos se caracterizan por mantener una diversa y abundante comunidad de organismos que ayudan a controlar las enfermedades de las plantas, los insectos y las arvenses, forman asociaciones simbióticas beneficiosas con las raíces de las plantas, reciclan nutrientes vegetales, mejoran la estructura del suelo con efectos positivos para la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo y, por la tanto, mejoran la producción agrícola.

La agricultura de conservación y la agrobiodiversidad, también, consideran al suelo como un cuerpo viviente en donde se ejercen diferentes funciones para el sostenimiento del sistema

agrícola, en el cual su calidad varía de acuerdo al uso y manejo que se le dé. Es por esto que la calidad también considera aspectos, como sostener y promover la productividad de los cultivos, pero sin perder las propiedades físicas, químicas y biológicas, mediante una productividad biológica sostenible, en donde se le da mayor importancia a los primeros 20 cm del suelo, puesto allí es donde existe la mayor actividad de la micro, meso y macro fauna y flora del suelo, considerados de gran importancia en las funciones ambientales para sostener la vida, Sin embargo es en esta zona se tiene un mayor riesgo de pérdida debido a procesos erosivos si no existen buenas prácticas agrícolas (Obando & Tobasura, 2012). Junto a la productividad biológica se encuentra la calidad ambiental y la salud de plantas, animales y humanos conformando los principales componentes de la calidad del suelo (Dora y Parkin, 1994 citados por Cuz y *colaboradores.*, 2004). Es así que los suelos sanos producen cultivos sanos por consiguiente, la calidad de los suelos está directamente relacionada con la calidad y la cantidad de alimentos (FAO, 2015b).

Entonces, de acuerdo con las características de los suelos de regiones tropicales, en donde el clima juega un papel muy importante en la mineralización de forma rápida de los diferentes componentes, también la topográfica y las malas prácticas agrícolas empleadas en los diferentes sistemas productivos, es necesario establecer y evaluar los indicadores de calidad de los mismos, para diagnosticar el estado actual, es decir la salud del suelo; y en zonas afectadas se deben tratar de establecer medidas que mitiguen y ayuden a mejorar la calidad del suelo.

2.3 INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO

El recurso suelo puede ser evaluado por algunos criterios para establecer como se encuentra para funcionar en un agro sistema, es decir medir su calidad mediante algunos indicadores que son representativos tanto en su condición biológica, física y química. Es así que se definen a los indicadores como criterios que permiten evaluar la calidad del suelo y sus cambios, en función de la sostenibilidad de los sistemas productivos. En donde los mismos son medibles y permiten establecer si un suelo es sano, fértil, productivo o en caso contrario si se encuentran en procesos críticos de degradación (Abi Saab, 2012).

Algunos autores (Abi Saab, 2012; Cruz *et al*, 2004; García & Sánchez, 2012) han establecido diferentes grupos de indicadores observables y medibles, que durante su experiencia han reconocido como importantes, siendo estos punto de referencia para tomar decisiones en los diferentes sistemas productivos, de acuerdo a los resultados obtenidos. Los indicadores además de medir en un momento determinado la situación actual de un sistema, también son una herramienta para monitorear el recurso en evaluación y la respuesta a diferente acciones que se tomen frente a este, en donde se evalúa y se lleva el seguimiento dentro de un agro ecosistema teniendo en consideración el tiempo, el espacio y las condiciones específicas del terreno. Los mismos autores han clasificado a estos indicadores en 3 grupos, tales como: indicadores biológicos, físicos y químicos, sin embargo también se menciona que se pueden usar indicadores visuales del sistema productivo, en relación a estos últimos, Restrepo (2007) afirma que las pruebas de laboratorios son la confirmación de las conclusiones a las cuales ha llegado el investigador después de su visita a campo.

En la figura 1 se presentan los indicadores de calidad del suelo que más se utilizan a nivel mundial (García & Sánchez, 2012).

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo
<i>Físicos</i>	
Textura del suelo	Retención y transporte de agua y minerales, erosión del suelo.
Profundidad del suelo	Estimación del potencial productivo y de erosión.
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lixiviación, productividad y erosión.
Capacidad de retención de agua	Relacionado con el contenido de humedad, transporte y erosión.
Estabilidad de agregados	Erosión potencial de un suelo, infiltración de agua.
<i>Químicos</i>	
Materia orgánica (C y N orgánico)	Fertilidad del suelo, estabilidad y grado de erosión. Potencial productivo.
pH	Actividad química y biológica, límites para el crecimiento de las plantas y actividad microbiana.
Conductividad eléctrica	Actividad microbiológica y de las plantas, límites para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiológica.
N, P y K extraíble	Disponibilidad de nutrientes para las plantas y pérdida potencial de N, indicadores de productividad y calidad ambiental.
Capacidad de intercambio catiónico	Fertilidad de suelo, potencial productivo.
Metales pesados disponibles	Niveles de toxicidad para el crecimiento de la planta y la calidad del cultivo.
<i>Biológicos</i>	
Biomasa microbiana (C y N)	Potencial catalizador microbiano y reposición de C y N.
N potencial mineralizable	Productividad del suelo y aporte potencial de N.
Respiración edáfica, contenido de agua, temperatura del suelo	Medición de la actividad microbiana.
Número de lombrices	Relacionado con la actividad microbiana.
Rendimiento del cultivo	Producción potencial del cultivo, disponibilidad de nutrientes.

Figura 1. Indicadores de calidad del suelo.

Fuente: García *et al.*, 2012

2.3.1 INDICADORES FÍSICOS

Dentro de esta categoría se encuentran propiedades como la densidad aparente, la infiltración, la porosidad, la estructura, características de los agregados, la estabilidad de los agregados, la profundidad del suelo superficial, la capacidad de almacenamiento de agua y la conductividad hidráulica. Todas estas variables relacionadas con la calidad física del suelo y asociadas a procesos como el comportamiento y transporte del agua, aire y nutrientes en el

suelo, además de la estimulación de actividades desarrolladas por microorganismos e invertebrados del suelo (Abi Saab, 2012).

2.3.2 INDICADORES QUIMICOS

Los indicadores químicos miden aspectos que afectan la relación suelo-planta, procesos tales como: la calidad del agua, capacidad de resiliencia o amortiguadora del suelo y la disponibilidad del agua, nutrientes y demás recursos necesarios tanto para la planta como para los microorganismos edáficos. Se encuentra dentro de este grupo propiedades como el pH, la conductividad eléctrica, disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico, materia orgánica, la capacidad de absorción de fosfatos, la capacidad de intercambio catiónico, el nitrógeno total y el nitrógeno mineralizable (García & Sánchez, 2012).

2.3.3 INDICADORES BIOLOGICOS

El suelo se comporta como el hospedador de diferentes organismos que se conocen como la fauna edáfica, la cual incluye la macro fauna (invertebrados), meso fauna (artrópodos, anélidos, nematodos y moluscos), micro fauna (protozoos y algunos nematodos) y microbiota (bacterias, actinomicetos, hongos y algas), todos los anteriores mencionados son los responsables de ejercer funciones importantes en los ciclos de nutrientes, descomposición y aporte de materia orgánica, producción de dióxido de carbono en la respiración, en la formación de poros y agregados por materia fecal, control de microorganismo benéficos sobre patógenos y se consideran un factor formador de suelo (Abi Saab, 2012; García & Sánchez, 2012).

Dentro de este grupo de indicadores se tienen propiedades como la respiración edáfica, la biomasa microbiana, conteo de lombrices, productividad de cultivos y temperatura del suelo.

2.4 CULTIVOS DE COBERTURA (CC)

En busca de suelos sanos, Zwart y colaboradores (2005) manifiestan que el establecimiento de cobertura vivas constituye una práctica fácil y de efecto positivo a la salud del suelo. Un cultivo de cobertura es una cobertura vegetal viva que cubre el suelo y que es temporal o permanente, el cual está cultivado solo o en asociación con otras plantas (intercalado o en rotación). Aunque, estos pueden pertenecer a cualquier familia de plantas, la mayoría son leguminosas (FAO, 2000). Por ejemplo, el *Dichanthium aristatum* es una gramínea perenne, la cual crece en forma de macolla se desarrolla rápidamente y forma manojos con altura entre 1 y 2 m (INATEC, 2016). Por otro lado, el *Arachis pintoii* es una leguminosa originaria de Sur América, cuya producción de biomasa es mayor en las zonas húmedas. Es abundantes en estolones y genera nuevas plantas en los nudos, lo cual favorece una cobertura rápida del suelo (Argel y Villareal, 1988; INATEC, 2016).

Las plantas de cobertura pueden ser utilizadas como coberturas vivas o muertas. En el primer caso estas pueden estar como monocultivo o convivir con un cultivo principal. Este sistema es frecuentemente utilizado cuando no hay competencia por agua, luz o nutrientes del suelo con el cultivo en asociación. Entonces, si lo que interesa es una cobertura viva, se deberá utilizar alguna cobertura de rápido establecimiento, pero con un hábito de crecimiento no muy agresivo. Cuando se trata de una cobertura muerta las plantas son eliminadas e incorporadas al suelo antes de sembrar el cultivo principal, este cultivo de cobertura se

convierte en un abono verde o puede ser suministrado como alimento de alto valor nutricional a diferentes animales. Las coberturas muertas o abonos verdes se caracterizan por tener un rápido hábito de crecimiento y producir la mayor cantidad de biomasa vegetal en el menor tiempo posible. De esta manera, cuando son eliminadas proveen una buena cubierta para la protección del suelo y de rápida descomposición para su aprovechamiento. Cabe resaltar que el sistema de coberturas vivas es más eficiente en cultivos perennes, mientras que el sistema de coberturas muertas es muy eficiente en cultivos de corta duración o estacionales (Sanchol y Cervantes, 1997). Los cultivos de cobertura constituyen una tecnología que es fácil de diseminar, necesitando únicamente un puñado de semillas y que a través del tiempo tienen un efecto positivo sobre la conservación de los recursos naturales (FAO, 2000).

Los resultados obtenidos por diferentes autores demuestran que en sistemas de conservación hay una variación en las características del suelo que conducen a una mayor capacidad para la producción agrícola, gestionar los recursos hídricos, secuestrar carbono orgánico y resistir a los procesos de degradación del suelo, tales como; la desertificación, la erosión, la reducción del contenido en materia orgánica, la contaminación, la salinización, la compactación y la reducción de la biodiversidad, las cuales pueden causar un efecto negativo sobre algunas de las características que confieren al suelo la capacidad para ejercer sus funciones (Gómez, 2015). La agricultura de conservación y agro-biodiversidad fomentan estos sistemas, recomendando al agricultor no solo el simple hecho de ver la conservación de suelos como la construcción de obras de ingeniería que mitiguen la erosión y escorrentía, sino de fomentar tecnologías simples y sencillas como la adopción de barbechos de leguminosas (arbóreas o herbáceas), entre otras buenas prácticas que permitan a los sistemas productivos mejorar y mantener los niveles de materiales orgánicos que tienen influencia

positiva en las propiedades físicas, químicas, biológicas e hidrológicas, incluyendo el incremento de la estabilidad, menor erosionabilidad, la mejora de la estructura y biodiversidad, lo que conlleva a una reducción en el uso de fertilizantes inorgánicos . Entonces acciones como mantener una cobertura permanente en el suelo, puede causar verdaderos beneficios al mismo como se puede observar en la figura 2.

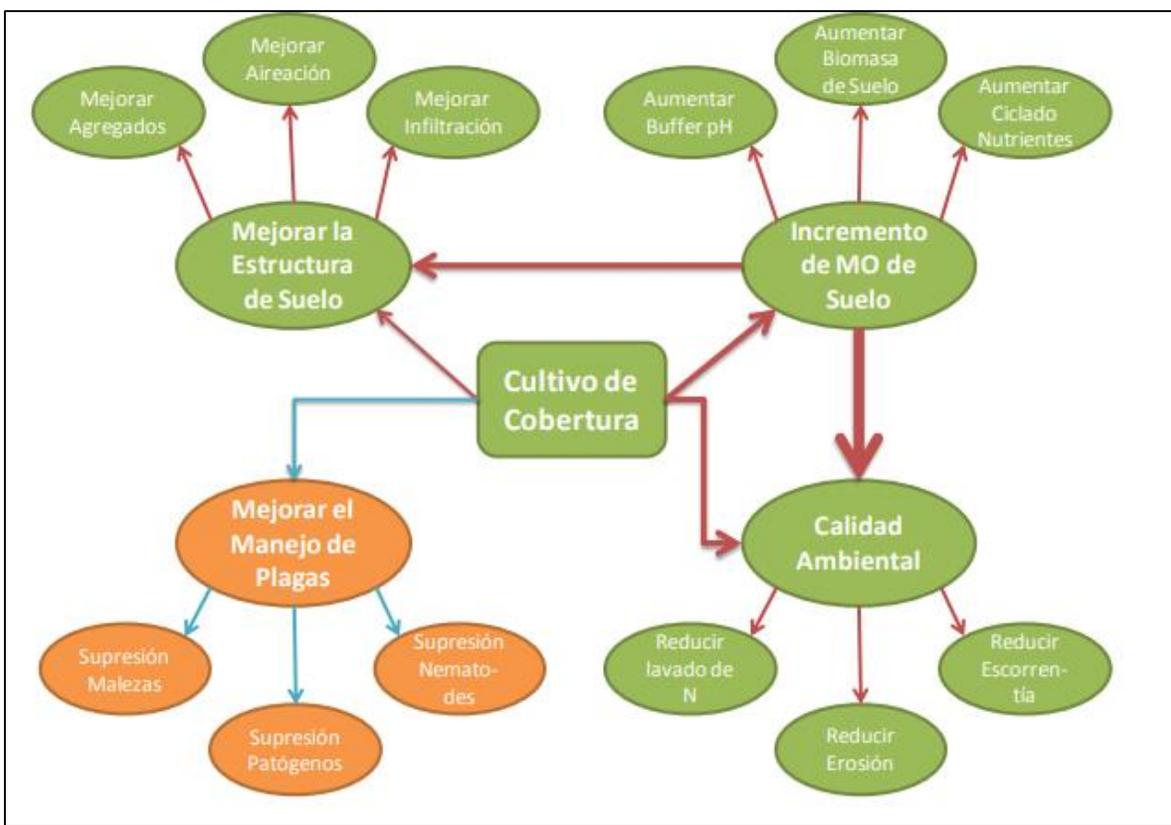


Figura 2. Funciones de un cultivo de cobertura
Fuente: (Alessandri, 2014).

Las investigaciones de numerosos autores (Borges y colaboradores, 2011; Canellas y colaboradores, 2004; Nascimiento y colaboradores, 2003; Giller y Fairhuidt, 2012; citados por Ruiz y Molina, 2013) han reportado que las coberturas leguminosas tienen la capacidad

de realizar aportes al mejoramiento de los suelo, aportar abundantes cantidades de materia orgánica, minimizar el impacto de las gotas de lluvia, evitando la destrucción de la estructura del suelo en la superficie, favorecen la infiltración del agua, y adicionalmente reducen la escorrentía y, por ende, el arrastre de partículas del suelo.

2.4. 1 MANI FORRAJERO

Durante las últimas décadas se han realizado investigaciones sobre plantas forrajeras como el *A. pintoi* que tengan gran adaptabilidad y desarrollo en zonas tropicales, las mismas enfocadas principalmente a la ganadería, para ser suministradas como alimento de alto valor nutricional. Sin embargo estas especies pueden servir para otras alternativas como abonos verdes, cultivos de cobertura y utilización en programas de conservación de suelos (Argel y Villarreal, 1998).

El maní forrajero pertenece a la familia de las leguminosas, se caracteriza por ser de crecimiento rastrero y estolonífero. Presenta una altura entre los 20 y 40 cm, con una raíz que puede alcanzar una profundidad entre los 30-36,5 cm, el tallo es ramificado circular y puede llegar a medir 1,5 m de longitud. Presenta una floración indeterminada y continua. En la figura 3 se presenta un estolón de maní forrajero. Además, se desarrolla en zonas tropicales desde el nivel del mar hasta los 1800 msnm y se desarrolla bien con precipitaciones anuales entre los 1500-3000 mm (Rincón y colaboradores., 1992).



Figura 3. Planta de maní forrajero

Fuente: Gómez, 2015

Diferentes autores han evaluado esta especie desde diferentes enfoques por ejemplo, Gómez (2015) reporta que los estudios realizados con *Arachis pintoi* han sido insuficientes y superficiales, los cuales fueron hechos principalmente por el ICA y el CIAT, que se orientaron principalmente en evaluar las ventajas de esta especie leguminosa como proteína animal y para el establecimiento de praderas. Sin embargo existen investigaciones con otro enfoque, Zwart y colaboradores., (2005), evaluaron *Arachis pintoi* y otras 4 coberturas leguminosas (*Centrosema molle*, *Desmodium ovalifolium* y *Flemingia macrophylla*) como una alternativa para minimizar el impacto negativo de prácticas agrícolas inadecuadas, en donde determinó que las coberturas leguminosas aportan verdaderos beneficios a la salud del suelo, contribuyendo a la fertilidad del mismo por medio de la materia orgánica producida, la cual puede facilitar la disponibilidad de nutrientes, siendo el maní forrajero la leguminosa

que aporta amplios beneficios físicos, biológicos, químicos para la salud del suelo en comparación con barbecho natural. Por otra parte, Borroto y colaboradores., (2001) en un cultivo de cítricos (naranja valencia) establecieron *Arachis pintoii* y *glycine* como cobertura vegetales, encontrando al cabo de dos años que las mismas disminuyeron la densidad del suelo y mejoraron la estructura del mismo, además de aumentar la macro y micro fauna del suelo. También se le ha dado otro enfoque a diferentes trabajos de investigación por ejemplo, en el manejo de malezas, Valles y Castillo en el 2006 evaluaron la leguminosa *Arachis pintoii*, en donde la describen como una cobertura viva promisoría para ser asociada en cultivos de alto valor comercial como los cítricos, el café, plátano, la piña y papaya. Es así, que en el cultivo del café se realizó la evaluación de la misma leguminosa y se encontró que ofrecía como ventajas un buen control de malezas rastreras, obteniendo en la parcela una cobertura del 100%, las arvenses fueron nulas (Staver, 1996). Además, el uso de *A. pintoii* ha sido recomendado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia en las plantaciones de café (Pérez y Pizarro 2005 citado por Ramos y colaboradores., 2011). En el manejo de plaga y enfermedades, en plantaciones de café con maní forrajero como cobertura viva, la avispa *Cephalonomia*, utilizada en el control de la broca, se alimenta del néctar de las flores del *A. pintoii*, siendo un factor favorable que permite su supervivencia (Staver, 1996).

2.4.2 PASTO ANGLETON

Dichanthium aristatum conocido comúnmente como pasto angleton es una gramínea perenne que crece en forma de macollas y se desarrolla rápidamente en forma de manojos con altura alrededor de los 60 cm, posee alta relación hoja – tallo. Cuando se encuentra para cosechar su contenido proteico oscila entre el 7 - 9% (Instituto nacional tecnológico INATEC, 2016).

Esta gramínea se utiliza para pastoreo, soporta el pisoteo y es tolerante a la sequía y a la humedad. Se adapta a suelos que poseen un pH entre 4-8, preferiblemente de buen drenaje y de mediana fertilidad. Posee un desarrollo óptimo en zonas con condiciones de altura desde el nivel del mar hasta los 1400 m.s.n.m que posean precipitaciones anuales superiores a 850 mm. También, se caracteriza por ser una especie invasora debido a la alta fertilidad de su semilla y por ende compite bien contra malezas abarcando toda la superficie donde es sembrada. Además, se puede asociar con algunas leguminosas *Arachis*, *Desmodium*, *Pueraria* y *Centrosema* (Peters *et al.*, 2013).

En cuanto al panorama investigativo sobre esta planta por su naturaleza la gran mayoría de estudios están orientados hacia el sector ganadero como una especie forrajera (Cruz, 1997; Perez y Peroza, 2013; Tivano & Heizen, 2017, entre otros) y sin precedentes como una especie empleada como barbecho mejorado, puesto que se la mayoría de investigaciones sobre el potencial de mejoramiento de la calidad en propiedades físicas y químicas del suelo lo ocupan las plantas pertenecientes a la familia de las leguminosas.



Figura 4. Pasto angleton

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de la zona de estudio.

Esta evaluación de desarrollará en un área total de 56 m² en la finca caballeriza (Figura 5) ubicada a 11 Km del municipio Baraya en el norte del departamento del Huila como se observa en la Figura 6. La zona de estudio presenta un pendiente para ser considerada un terreno plano.



Figura 5. Georreferenciación del área de estudio en Google Earth.

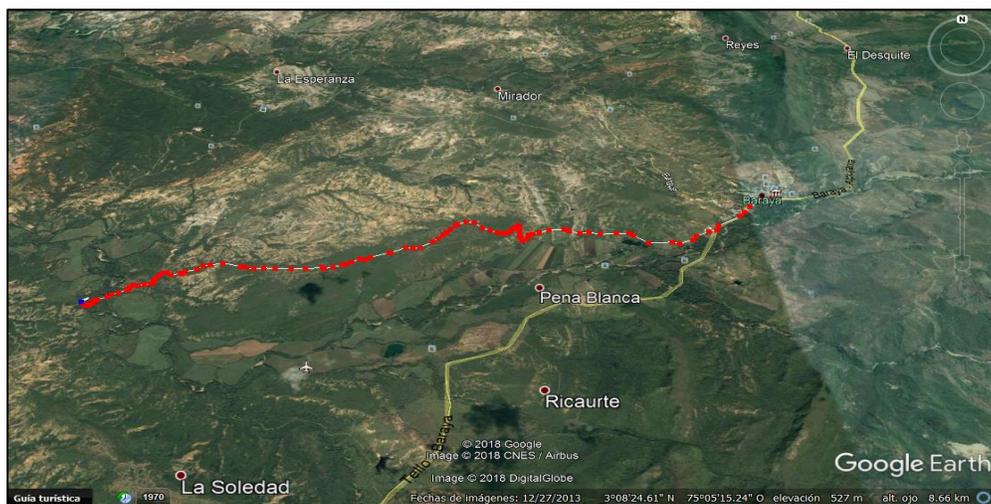


Figura 6. Recorrido de Baraya a la finca caballeriza.

El clima en la vereda caballeriza según el IDEAM con un registro de información desde el año 1981 al 2010 cuenta con un promedio de 26 °C y una precipitación anual de 1100 mm de lámina de agua. La vereda caballeriza se encuentra localizada en las coordenadas 3.141409N, -75.138244W a una altura aproximada de 460msnm y sus suelos se caracterizan por ser de origen de diversos materiales calificados como inceptisoles de suborden udepts (Torrente, 2016).

3.2. Diseño Metodológico

Las unidades experimentales correspondientes al maní forrajero y al pasto angleton, objeto del estudio, se distribuirán en campo en un diseño de bloques completos al azar, constituido por 3 bloques, 3 tratamientos y 3 repeticiones, como se ilustra en la Figura 7. Los tratamientos hacen referencia a las coberturas a evaluar. El primer tratamiento T1 (maní forrajero), donde se sembrará 130 estolones en total, utilizando una densidad de siembra 30 cm x 30 cm; el segundo tratamiento T2 (Pasto angelón), en el cual se hará siembra directa al voleo y el tercer tratamiento T0, es el testigo, que estará dado por parcelas experimentales con suelo desnudo y/o barbecho nativo. Cada unidad experimental cuenta con un área de 4 m² (2 m x 2 m), la distancia entre bloques es de 1 m y entre unidades experimentales es de 0,5 m.

Tratamientos:

Tratamiento T0: Testigo, suelo desnudo/barbecho nativo.

Tratamiento T1: Maní forrajero.

Tratamiento T2: Pasto angleton.

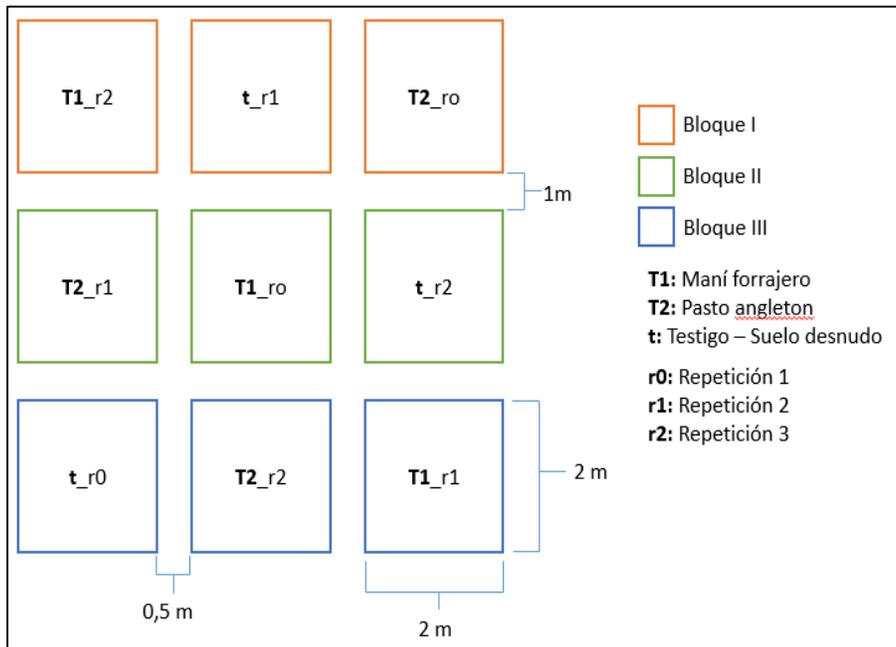


Figura 7. Diseño experimental de la investigación.

El trabajo de campo se llevó a cabo en 8 meses, primero se realizó un muestreo (antes de la siembra de las coberturas vegetales) para obtener un diagnóstico inicial de la salud del suelo, una vez establecido el maní forrajero y el pasto angleton, la toma de muestra se hizo con una frecuencia de dos meses. Se analizaron en total 45 muestras, durante el periodo de la investigación, es decir, una muestra por parcela experimental en las 5 ocasiones (inicio, mes2, mes4, mes6 y mes8), de cada muestreo se analizaron las propiedades que se presentan en la Tabla 1 (análisis físicos, químicos y biológicos con sus respectivos métodos). El muestreo se realizó de manera aleatoria en cada parcela experimental a 10 cm de profundidad, puesto que es la profundidad efectiva de las raíces de las coberturas nobles.



Establecimiento de los tratamientos



Tratamientos de la investigación a un (1) mes de establecidos

3.3. Variables analizadas

Se analizó diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, durante el tiempo de la investigación, las cuales se presentan en la tabla 1 con su respectiva metodología.

Tabla 1. Propiedades a evaluar durante la investigación.

Variables dependientes		Metodología	Fuente
Suelo	Propiedades físicas	Densidad aparente ($\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$)	Método del cilindro
		Densidad real ($\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$)	Método del picnómetro
		Velocidad de Infiltración ($\text{mm} \cdot \text{hr}^{-1}$)	Método de anillos infiltrómetros
		Estabilidad de los agregados DPM* (mm)	Método de Yoder
	Propiedades químicas	pH	Determinación potenciométrica del pH del suelo
		C.E ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)	Determinación potenciométrica de la C.E del suelo
		%M. O	Método de calcinación
		C.I.C (meq/100 gr suelo)	Método del acetato de amonio
Propiedades biológicas	Respiración basal (gr CO_2)	Método de incubaciones estáticas	

(IGAC,2006)

(MORA,2006, IGAC 1990)

Cabe resaltar que, una vez establecidas las coberturas vegetales, la única actividad agronómica a realizar en las unidades experimentales es el riego, el cual fue igual para todas las parcelas (40 L/día).

4.3.1. Densidad aparente (Da)

La densidad aparente se determinó mediante el método del cilindro de volumen conocido, La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa del suelo seco (peso de la fase sólida) y el volumen total, incluyendo al espacio poroso. La masa del suelo se refiere al peso después de secar el suelo en estufa a 110° C durante 24 hr y el volumen está dado por el cilindro se determina utilizando la ecuación 1.

$$Da = \frac{ms}{Vc} \quad \text{Ecuacion 1}$$

Donde:

Ms: masa del suelo seco

Vc: Volumen del cilindro

4.3.2. Densidad real (Dr)

La densidad real se determinó mediante el método del picnómetro (25 ml de capacidad). Se agregan 5 gr de suelo seco (24 horas 105 °C) y pasado por el tamiz # 10 (2 mm) en un picnómetro previamente pesado (mpv), posteriormente se pesa el picnómetro con el suelo (mpss), se llena el picnómetro con agua destilada hasta un tercio de capacidad del recipiente, para luego succionar mediante vacío la burbujas que se forman en su interior, se coloca durante dos horas en el desecador, luego se llena hasta dos tercios de capacidad con agua destilada el picnómetro y se lleva por una hora más a vacío. Seguidamente se llena con agua destilada la parte faltante y se obtiene su peso (mpsw). Para determinar el volumen de desplazamiento se debe llenar a capacidad el picnómetro con agua destilada y obtener su peso (mpw). La densidad real se obtuvo mediante la ecuación 2.

$$Dr = \frac{mpsw - mpv}{(mpw - mpv) - (mpsw - mpss)} * Dw \quad \text{Ecuacion 2}$$

Donde:

mpv : masa del picnómetro vacío

mpw : masa del picnómetro más agua

mpss : masa del picnómetro más suelo

mpsw: masa del picnómetro más suelo y agua

4.3.3. Infiltración básica (Ib)

La velocidad de infiltración da a conocer la capacidad del suelo de absorber agua. Inicialmente, cuando el suelo se encuentra seco, la velocidad de penetración del agua en el suelo es más rápida pero luego de cierto tiempo esta velocidad tiende a volverse constante. La prueba se realizó utilizando los anillos infiltrómetros, los cuales son enterrados en el suelo asegurándose que se encuentren a nivel, posteriormente se procede a colocar el agua dentro de los mismos, teniendo en cuenta que el mismo nivel de agua sea el mismo dentro del anillo pequeño y el anillo grande. Se procede medir la lámina de agua infiltrada a través del tiempo. Así, la velocidad de infiltración del agua disminuye conforme aumenta la cantidad penetrada en el suelo hasta que al cabo de un tiempo llega a estabilizarse. Esta magnitud de Infiltración se denomina velocidad de infiltración básica. En la práctica se seleccionó a la I_b como aquella que presentó una variación menor al 10 % en comparación con el registro anterior (Kunts y colaboradores., 2003) y se determinó mediante la metodología planteada por Pizarro y colaboradores., (2008) mediante la ecuación 3.

$$I = \frac{Dh \times 600}{t} \qquad \text{Ecuacion 3}$$

Donde:

I = Velocidad de infiltración en mm/hr

Dh = Diferencial de altura de agua (cm)

t = Diferencial de tiempo (min)

4.3.4. Estabilidad estructural de los agregados (EA)

Esta propiedad se determinó mediante el método de Yoder en húmedo, el cual consta de los tamices #4, #10, #18, #35 y #60, se colocan 100 gr de suelo y en el equipo se pone a oscilar durante 30 minutos 100 g de suelo, posteriormente se separa el suelo que quedo retenido en cada tamiz y se lleva las muestras al horno durante 24 horas a 105 °C. Luego se registra el peso para cada muestra y se le agrega 10 ml de hexametáfosfato de Sodio y 100 ml de agua se llevan a agitación durante 30 minutos, enseguida se hace pasar cada muestra por cada tamiz. Lo que queda en cada tamiz se lleva nuevamente a secar al horno bajo las mismas condiciones. Después se registran el peso de las partículas primarias y se procede a calcular el diámetro medio ponderado (DMP) con la ecuación 4

$$DMP = \sum_{i=1}^n \frac{M_{ssi}\% * \bar{X}_i}{100} \quad \text{Ecuacion 4}$$

Donde:

Mssi%: Porcentaje de los agregados del suelo contenidos por cada tamiz

Xi: Diámetro medio de apertura de cada tamiz

4.3.5. pH

La determinación del pH se realizó mediante el potenciómetro, utilizando una relación 1:1 de suelo y agua respectivamente. Se utilizó suelo seco y previamente tamizado por el tamiz #2, se adiciono 20 gr de agua y 20 gr de suelo en un recipiente, el cual se llevó a agitación durante 30 minutos, posteriormente se determinó el pH utilizando el potenciómetro.

4.3.6. Conductividad Eléctrica (C.E)

La determinación de la conductividad eléctrica se realizó mediante el conductivímetro, utilizando una relación 1:2 de suelo y agua respectivamente. Se utilizó suelo seco y previamente tamizado por el tamiz #2, se adiciono 40 gr de agua y 20 gr de suelo en un recipiente, el cual se llevó a agitación durante 30 minutos, posteriormente se colocó al filtrar la solución, una vez finalizado, se determinó la conductividad eléctrica utilizando el conductivímetro.

4.3.7. Materia Orgánica (M.O)

Para la cuantificación de MO por LOI (calcinación) se siguió el método propuesto por Schulte & Hopkins (1996) citado por Eyherabide y *colaboradores*. (2014). Se pesaron 5 g de muestra en crisoles de 15 mL, posteriormente fueron colocados en estufa durante 24 h a 105 °C. Las muestras fueron enfriadas en desecador y pesadas. Luego se colocaron durante 2 h en una mufla a 360 °C, posteriormente se transfirieron a un desecador y luego de enfriarse se registró el peso nuevamente. El cálculo de MO se realizó por diferencia de peso en las distintas temperaturas, con la ecuación 5.

$$\%MO = \frac{\text{peso } 105^{\circ}C - \text{peso } 360^{\circ}C}{\text{peso } 105^{\circ}C} * 100 \quad \text{Ecuacion 5}$$

4.3.8. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La CIC se determinó por el método de acetato de amonio, se utilizó 5 gramos de suelo seco al cual se le añadió 40 ml de acetato de amonio 1M pH 7.0, esta solución se llevó a agitación durante 30 minutos, luego se colocó a filtrar . Posteriormente se agregó 5 ml de alcohol etílico al 95% durante 10 ocasiones para lavar el exceso de amonio. Enseguida se cambia de vaso de precipitado y se añadió 50 ml de la solución extractora (NaCl al 10%) para seguir filtrando. Al filtrado se le agrega 20 ml de formaldehído y dos gotas de fenofaleína, para luego realizar la titulación con hidróxido de sodio a 0,2 N hasta obtener un color rosado pálido permanente. La CIC se determina mediante la ecuación 6.

$$CIC \left(\frac{meq}{100 g} \right) = \frac{(V - Bp) * N * (100 + pw)}{pm} \quad \text{Ecuacion 6}$$

Donde:

V: ml de NaOH gastados en la titulación de la muestra

Bp: ml de NaOH gastados en la titulación del blanco del proceso

N: normalidad del NaOH

Pm: peso de muestra en g

Pw: porcentaje de humedad en el suelo seco a 105°C (factor de corrección por humedad)

4.3.9. Respiración basal del suelo

Se desarrolló mediante el método empleado por Mora (2006). El cual consiste en colocar 200 gr de suelo, en donde se debe asegurar que todas las muestras presenten un contenido de humedad igual, en un recipiente formando una base de alrededor 2 cm, encima de este se colocan 20 ml de NaOH 0,2 N y se tapa herméticamente. Se deja en incubación durante 96 horas, luego se le agrega un alícuota de 1 ml de BaCl₂ al NaOH y tres gotas de fenolftaleína, enseguida se procede a realizar la titulación con HCL al 0,1N. Se determinó la respiración basal del suelo mediante la ecuación 7.

$$CO_2(\text{gr } CO_2) = \left(10 - \frac{n}{2}\right) * 0,00044 \quad \text{Ecuacion 7}$$

Donde:

n: La cantidad de volumen de HCl utilizado en la titulación.

4.4. Análisis de la información.

Se comparó estadísticamente el impacto de las coberturas vegetales a través de la variable independiente (tiempo sobre las variables dependientes (propiedades del suelo), mediante el análisis de varianza (ANOVA multifactorial) utilizando el programa estadístico STATGRAPHICS® Centurión XVI. Se compara de acuerdo al modelo estadístico planteado la influencia del cultivo de cobertura sobre las propiedades evaluadas sobre el suelo en cada muestreo, posteriormente se incluye la variable tiempo y se realiza la comparación.

4.4.1. Pruebas de rangos múltiples

Mediante el programa estadístico STATGRAPHICS® Centurión XVI se establece las diferencias entre tratamientos, se emplea la prueba de Comparaciones de Rangos Múltiples de HSD de Tukey $\alpha = 0.05$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados obtenidos para las diferentes variables evaluadas durante el periodo de la investigación de los dos cultivos cobertura y para el testigo, también se presenta el análisis estadístico de las mismas.

4.1. Densidad aparente (DA)

En la tabla 2 se dan a conocer los resultados promedio obtenidos para la densidad aparente al cabo del desarrollo de la investigación.

Tabla 2. Valores promedios obtenidos para la densidad aparente y rangos múltiples.

Da (gr*cm ⁻³)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	1,69 ^a ± 0,08	1,69 ^a ± 0,05	1,63 ^a ± 0,04	1,62 ^a ± 0,03	1,60 ^a ± 0,02
T1	1,69 ^a ± 0,06	1,61 ^a ± 0,04	1,51 ^a ± 0,03	1,52 ^b ± 0,01	1,49 ^b ± 0,03
T2	1,69 ^a ± 0,09	1,63 ^a ± 0,03	1,51 ^a ± 0,11	1,51 ^b ± 0,01	1,50 ^{ab} ± 0,05

Nota:

- No presentan diferencias significativas los resultados que tienen letras iguales en el superíndice (Los rangos múltiples mostrados en la tabla son en base al análisis estadístico aplicado que se realizó respecto a los tratamientos, ver anexo 2).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

La tabla 2 presenta los valores promedios para el tratamiento y tiempo en que fueron tomados. Estos valores oscilan entre 1,49 a 1,69 gr/cm³, los mismos son graficados en la figura 8.

De acuerdo con Castro y Amézquita (1991) citado por Murillo y colaboradores., (2014) y el USDA (1999) citado por Tasistro (2013) para el diagnóstico inicial del suelo (mes 0) este se puede clasificar como un suelo compacto y que se encuentra dentro de un rango crítico que puede afectar el crecimiento de raíces y por consiguiente un desarrollo no óptimo de las plantas. Considerando que las prácticas de manejo que se le da a un suelo es un factor que

influye significativamente en la Da, es necesario manifestar que el suelo de la investigación tiene como antecedentes el uso para la ganadería. Siendo esta la principal razón de los valores elevados obtenidos en el diagnóstico del mismo.

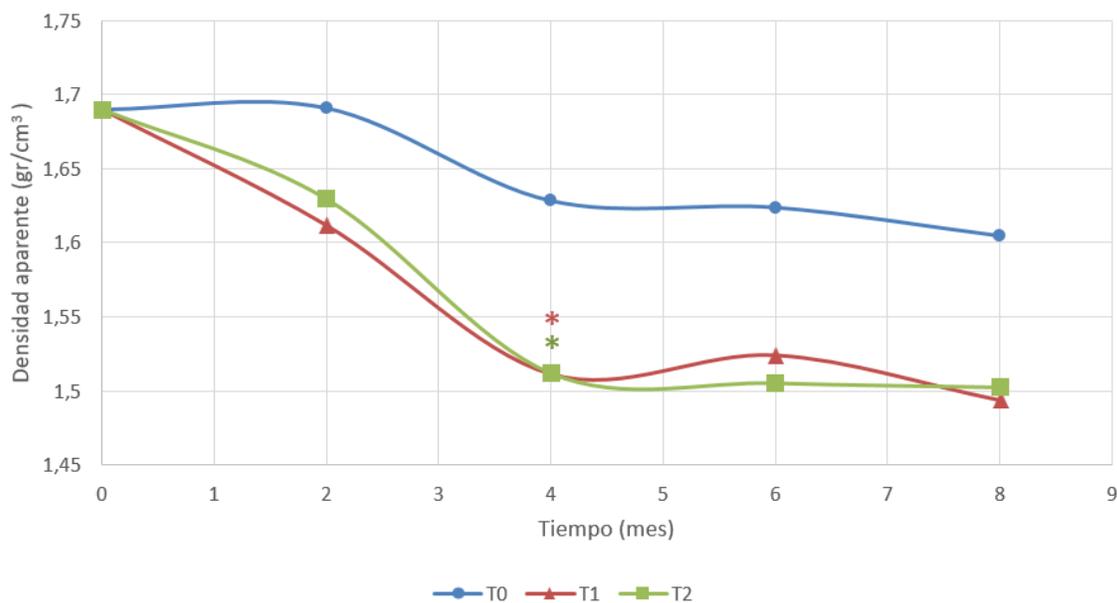


Figura 8. Comportamiento de la densidad aparente durante el periodo de evaluación

Nota:

- La presencia de asteriscos sobre un mes indica que existen diferencias significativas respecto al tiempo en relación con algún mes anterior (El análisis estadístico y rangos múltiples respecto a esta variable se encuentran en el anexo 3).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

Una vez establecidos los cultivos de cobertura se empiezan a ver cambios en esta propiedad, siendo el de mayor valor el del mes dos (2) al mes cuatro (4) para todos los tratamientos, puede deberse principalmente por la colonización de las raíces de estos cultivos, puesto que las mismas van penetrando y excavando galerías en el suelo que permanecen intactas mientras este no se labore o que a su vez son utilizadas y modificadas por la fauna edáfica, las raíces van mejorando los macro poros, por ende la porosidad y a su vez la oxigenación y el drenaje mejoran, lo que se conoce como un arado biológico (Restrepo, 2007). En donde, algunas propiedades de los Cultivos de Cobertura como el porcentaje de cobertura, la

profundidad y diámetros de raíces pueden afectar en mayor o menor medida la D_a en el suelo. Teniendo el maní forrajero y el pasto angleton una influencia similar sobre esta propiedad, puesto que los valores obtenidos son muy semejantes, en donde a partir del mes cuatro (4) al mes (8) tiende a no presentar una gran variación y a permanecer estables. De acuerdo con el análisis estadístico aplicado (Tabla 1, Anexo 3) se presentan diferencias significativas entre tratamientos y el tiempo, la tabla 2 demuestra que existen entre el tratamiento testigo, en el cual el barbecho también tendió a disminuir la D_a , y los cultivos de cobertura, pero entre el maní forrajero y el pasto angleton no las hay. Sin embargo, es la gramínea la que mejor adaptación y comportamiento presenta a estas condiciones climáticas y edáficas propias de la zona, donde la misma desde el mes dos (2) logra una cobertura total sobre el suelo en todas las parcelas experimentales y sosteniéndose así durante todo el periodo de evaluación, por el contrario, con el maní forrajero no se logró obtenerse una cobertura total.

Esta propiedad también está relacionada con la materia orgánica, puesto que un alto contenido de la misma tiende a disminuir la densidad aparente conforme se presenta la descomposición y maduración de la misma (Jiménez & Sadeghian, 2005); es así que los suelos orgánicos presentan densidades aparentes muy bajas. Sin embargo, en relación con la materia orgánica y su contenido en los tratamientos de la investigación durante el periodo de evaluación es muy baja para que logaran influenciar un cambio mayor sobre la D_a . También es importante mencionar que la densidad aparente está relacionada con el material parental, el cual dio origen al mismo y a sus propiedades, en suelos donde predominan las partículas finas; los valores de densidad aparente varían entre 1-1,2 gr/cm^3 y en suelos arenosos de 1,2-1,6 gr/cm^3 , considerando aun un valor muy elevado para el suelo de la investigación el cual

presenta una textura del suelo franco arcillo arenosa. Igualmente, se considera la densidad aparente una de las propiedades más influyentes que afecta la productividad de cultivos, en donde las plantas en suelos dentro de valores críticos de D_a tienden a presentar menor área foliar y materia seca foliar, así mismo la biomasa radical (Jiménez & Sadeghian, 2005; Venanzi y colaboradores., 2002).

De acuerdo con Alvarado y Forsythe (2005), una de las causas del aumento de la densidad aparente es debido a la reducción de la actividad biológica de un suelo, de igual manera los mismos autores anuncian que la misma propiedad se considera como un indicador de penetrabilidad de la raíz al suelo estableciendo que el rango crítico para varios cultivos esta entre $1,47 - 1,90 \text{ gr/cm}^3$; Aunque se obtuvo cambios en la densidad aparente principalmente en los dos cultivos de cobertura con un efecto similar, los valores finales obtenidos para todas las parcelas experimentales se encuentran en este rango. Es así que Mula & Angulo (s.f) mencionan a los cultivos de cobertura como una alternativa para hacerle frente a la compactación manifiesta que para que se produzca mejoras visibles en el suelo se requieren de un periodo de 2 años, como la gran desventaja de esta metodología.

La densidad aparente además disminuyo en un promedio de $0,15 \text{ gr/cm}^3$ que dentro de la apreciación de la porosidad se tiene un cambio aproximado del 6%, esto se refleja de manera positiva en otra propiedad como es la infiltración básica donde se obtuvieron diferencias significativas.

5.2. Densidad real (Dr)

En la tabla 3 se dan a conocer los datos promedio obtenidos para la densidad real del suelo para los diferentes tratamientos y en los diferentes momentos de la toma de muestras de la investigación.

Tabla 3. Valores promedios obtenidos para la densidad real y rangos múltiples.

Dr (gr*cm ⁻³)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	2,23 ^a ± 0,05	2,24 ^a ± 0,06	2,21 ^a ± 0,10	2,17 ^a ± 0,04	2,27 ^a ± 0,05
T1	2,25 ^a ± 0,10	2,18 ^a ± 0,01	2,31 ^a ± 0,12	2,30 ^b ± 0,06	2,21 ^a ± 0,05
T2	2,21 ^a ± 0,03	2,24 ^a ± 0,06	2,23 ^a ± 0,04	2,20 ^a ± 0,04	2,18 ^a ± 0,01

Nota:

- No presentan diferencias significativas los resultados que tienen letras iguales en el superíndice (Los rangos múltiples mostrados en la tabla son en base al análisis estadístico aplicado que se realizó respecto a los tratamientos, ver anexo 2).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

De acuerdo a la tabla 3 los resultados de densidad real presentan valores promedios entre 2,18 y 2,30; lo que evidencia que no existe una gran variación a través del tiempo y bajo la influencia de las coberturas, respecto a esto el análisis estadístico aplicado (Tabla 2, Anexos 3) arroja que no existen diferencias significativas.

Según Rucks y *colaboradores.*, (2004) esta propiedad del suelo depende del material parental (varía con la proporción de los elementos que constituyen el suelo) y del contenido de materia orgánica que posea, en donde suelos sin la presencia de minerales pesados y con valores de materia orgánica inferior al 1%, presentan valores promedios de 2,65. Entonces los resultados obtenidos pueden considerarse como bajos, Cardona y Sadeghian (2005) clasifican datos similares dentro de esta categoría.

Estos valores pueden deberse principalmente a un alto contenido de partículas con baja densidad como el yeso presente en el suelo, material que causa una disminución en la densidad real en los suelos, y no por la presencia de un alto contenido de material orgánico, cuyos valores para este componente del suelo oscilan en alrededor de los 1,5 gr/cm³. Por ende los resultados obtenidos de densidad real a través del tiempo no presentan mucha variación, de acuerdo a el análisis estadístico aplicado (tabla 2, Anexos 3) no existen diferencias significativas entre tratamientos, es decir ninguno de los cultivos de cobertura presento influencia sobre esta propiedad del suelo, que bien pudo verse ligeramente modificada por el aporte de materia orgánica a través de la biomasa o materia seca asociada a las coberturas nobles, en suelos con alto contenido de materia orgánica u aportes constantes de la misma, se presentan valores de densidad real por debajo del promedio (Martínez y colaboradores., 2008 ; Seguel y colaboradores., 2003). No obstante, Gómez (2015) publica que el uso de *Arachis pintoi* como cobertura viva durante un periodo de evaluación de 6 meses, aumento la materia orgánica del suelo y a su vez presenta un incremento de la densidad real pasando de 2,3 a 2,9 gr/cm³.

5.3. Infiltración básica (Ib)

Los resultados de infiltración básica se presentan en la tabla 4, se dan a conocer los datos promedio obtenidos respecto a cada tratamiento y a los diferentes meses de realizada la prueba.

Tabla 4. Valores promedios obtenidos para la Infiltración y rangos múltiples.

Ib (mm*hr ⁻¹)					
Tratamiento	0	2	4	6	8
T0	10,0 ^a ± 2,82	10,0 ^a ± 1,00	10,0 ^a ± 2,00	10,7 ^a ± 1,15	10,7 ^a ± 1,15
T1	10,0 ^a ± 2,82	11,7 ^a ± 0,58	12,7 ^a ± 1,15	14,0 ^b ± 2,00	14,7 ^b ± 1,15
T2	10,0 ^a ± 2,82	11,0 ^a ± 1,00	12,0 ^a ± 2,00	11,3 ^a ± 1,15	12,0 ^{ab} ± 2,00

Nota:

- No presentan diferencias significativas los resultados que tienen letras iguales en el superíndice (Los rangos múltiples mostrados en la tabla son en base al análisis estadístico aplicado que se realizó respecto a los tratamientos, ver anexo 2).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

De acuerdo a la tabla 4 los resultados promedios para la infiltración oscilaron entre 10 a 14,7 mm/hr, estos son propios para suelos francos arcillosos, similar a la textura del suelo de la investigación y puede clasificarse como moderadamente lenta (Brouwer y *colaboradores.*, 1988), siendo la textura junto a la estructura y el contenido de humedad previo a la ejecución de la prueba, las principales propiedades que influyen en la velocidad de infiltración, considerada como un indicador de la calidad del suelo (Kunts y *colaboradores.*, 2003). Sin embargo, estos valores tan bajos pueden estar asociados por la baja porosidad y por consiguiente con la compactación presentada por el pisoteo de animales, Noguera & Vélez., (2011) manifiesta que la carga causada por animales afecta las propiedades físicas del suelo, disminuyendo la densidad aparente y la porosidad, también Prieto y *colaboradores.*, (2013)

manifiesta que un valor bajo ó una disminución de la velocidad de infiltración estaría asociada a la compactación del horizonte superficial.

Es así que el barbecho que se presentó durante el periodo de la investigación en el tratamiento testigo no presentó ninguna influencia sobre esta propiedad, por el contrario los tratamientos de los cultivos de cobertura si lo hicieron, en menor medida el pasto angleton, y siendo el maní forrajero el que mayor efecto positivo ejerció como se muestra en la figura 9, el análisis estadístico aplicado en el análisis estadístico aplicado (Tabla 3, Anexos 3) da como resultado que existen diferencias significativas entre los tratamientos y a través de la tabla 4 clasifica al tratamiento testigo en un grupo diferente a del maní forrajero en el mes seis (6), pero no respecto al pasto angleton.

De acuerdo con Puertas y *colaboradores.*, (2008) esta leguminosa alcanza raíces de profundidad de hasta 36,5 cm, siendo esta característica fisiológica de la planta la que permite mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de humedad, mejorar la porosidad y el flujo hídrico en el drenaje interno, mediante las galerías que se forman. En el mismo sentido Ibañez (2007a) expresa que los sistemas radiculares forman unos conductos formidables para la circulación del agua, y lo son más aún cuando tales ramificaciones subterráneas han muerto. Igualmente, Alvarado y *colaboradores.*, (2011) manifiesta que los componentes radiculares ofrecen estabilidad, rugosidad y porosidad, lo que supone un aumento en la velocidad de infiltración. De igual manera, Muñoz y *colaboradores.*, (1985) reporta en su investigación que el pasto produce una gran cantidad de canalículos producto de la presencia de las raíces lo que mejora considerablemente la velocidad de infiltración, permitiendo un menor tiempo de riego para restablecer la humedad al 50%. En el mismo

sentido Hoogendam y colaboradores., (2007), manifiesta que la siembra de abonos verdes y posterior incorporación al suelo mejora la infiltración y capacidad de retención de agua.

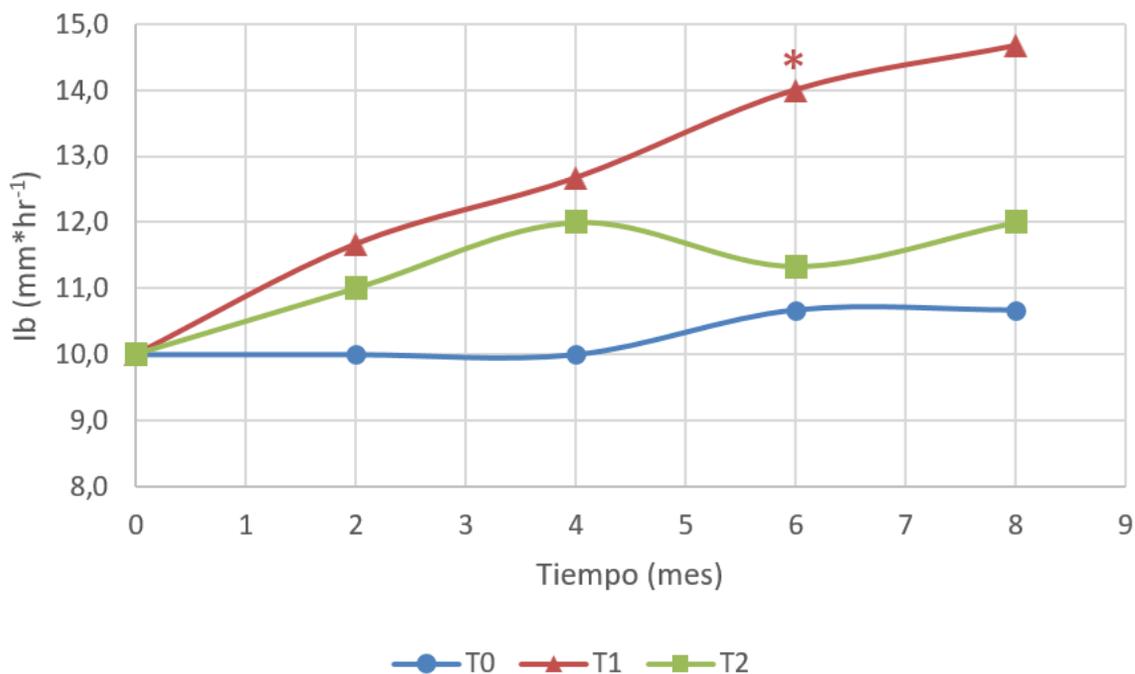


Figura 9. Gráfica que representa la infiltración básica con respecto al tiempo.

Nota:

- La presencia de asteriscos sobre un mes indica que existen diferencias significativas respecto al tiempo en relación con algún mes anterior (El análisis estadístico y rangos múltiples respecto a esta variable se encuentran en el anexo 3).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

Además los Cultivos de Cobertura al crear un micro hábitat en donde se protege, cubre, se mantiene la humedad en el suelo y se proporciona materia orgánica, es una forma indirecta de mejorar positivamente esta propiedad, pues se contribuye al incremento de la macro y meso fauna edáfica, la cual tiene un efecto positivo en el suelo, influyen en la infiltración y aireación (Huerta y colaboradores., 2006; Sasal y colaboradores., 2000). Por ejemplo, termitas, hormigas, lombrices exploran y generan canales, favoreciendo la formación de agregados y de cavidades de mayor tamaño por donde circula el agua rápidamente (Ibañez, 2007a). Así mismo Uribe y colaboradores., (2014), además de comprobar que las hojas de

arachis pinto sirven de alimento y fomenta la reproducción de lombrices, manifiesta que las mismas promueven la aeración e infiltración del suelo con sus galerías e intervienen en su estructura al producir agregados de diferentes tamaños, dando lugar a que la materia orgánica se estabilice en sus excretas (turrículos) y con ello promover la disponibilidad de materia orgánica y nutrientes a otros organismos del suelo.

Sin embargo, a pesar de que exista una mejora en esta propiedad, los resultados finales obtenidos están dentro de la misma clasificación, moderadamente lenta.

4.4. Estabilidad estructural del suelo (EA)

En la tabla 5 se presenta los resultados promedio obtenidos para la estabilidad estructural del suelo, dados en diámetro medio ponderado, los mismos para cada tratamiento y periodo de evaluación.

Tabla 5. Valores promedios obtenidos para estabilidad estructural de los agregados y rangos múltiples.

EA (mm)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	0,64 ^a ± 0,00	0,60 ^a ± 0,03	0,63 ^a ± 0,02	0,64 ^a ± 0,02	0,66 ^a ± 0,02
T1	0,64 ^a ± 0,00	0,65 ^a ± 0,02	0,64 ^a ± 0,02	0,73 ^b ± 0,02	0,79 ^b ± 0,03
T2	0,64 ^a ± 0,00	0,63 ^a ± 0,01	0,64 ^a ± 0,01	0,77 ^c ± 0,02	0,84 ^b ± 0,03

Nota:

- No presentan diferencias significativas los resultados que tienen letras iguales en el superíndice (Los rangos múltiples mostrados en la tabla son en base al análisis estadístico aplicado que se realizó respecto a los tratamientos, ver anexo 2).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

A partir de los resultados obtenidos de estabilidad estructural se clasificó la muestra del suelo por el método de Yoder como una estructura ligeramente estable, encontrándose en el rango de 0,5-1,5 mm de DMP, con valores promedios que oscilaron entre 0,60 y 0,84 mm, los mismos son representados en la figura 10. Se interpreta que los resultados son acordes con las condiciones del lugar de procedencia, puesto que esta zona ha sido dedicada a la ganadería extensiva y ha sufrido procesos de compactación, acción que tiende a modificar la estructura, en cuanto a su forma, dimensión y en condiciones más desfavorables la destrucción y pérdida de la misma. Por otro lado, esta clasificación no tan desfavorable puede estar relacionada con el contenido de arcillas presentes en el suelo, pues son este tipo de partículas en donde se presentan una mayor fuerza de cohesión, haciendo que el suelo posea una estabilidad no tan débil.

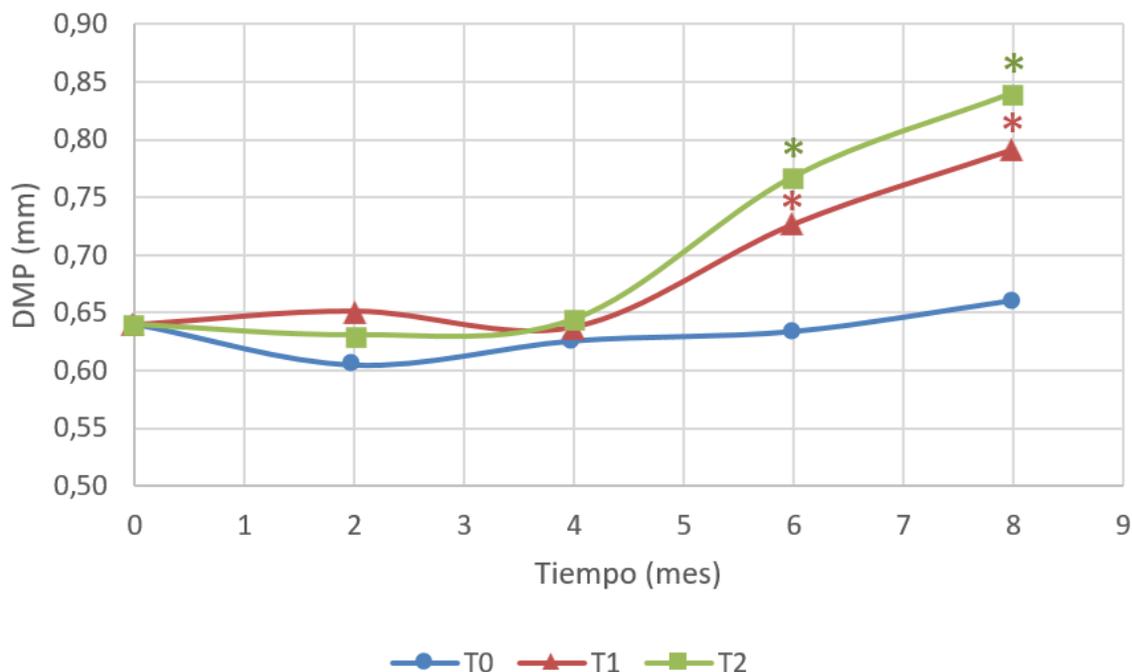


Figura 10. Comportamiento de la estabilidad de los agregados durante el periodo de evaluación.

Nota:

- La presencia de asteriscos sobre un mes indica que existen diferencias significativas respecto al tiempo en relación con algún mes anterior (El análisis estadístico y rangos múltiples respecto a esta variable se encuentran en el anexo 3).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

En la evaluación se observa que hasta el mes cuatro (4) no se presentan diferencias notables entre los tratamientos, pero a partir del mes seis (6) si existen valores de DMP un poco más elevados tanto para el maní forrajero como para el pasto angleton, siendo este último el que más influencia presenta sobre esta propiedad, debido a que el desarrollo poblacional de raíz del pasto angleton fue mayor. Estas diferencias son obtenidas en el análisis estadístico aplicado (la tabla 4, Anexos 3), la cual confirma que son significativas y mediante la tabla 5 se obtiene que entre cultivo de cobertura no existen diferencias pero respecto al testigo si las hay, pues este presenta DMP estables durante el periodo de evaluación. Estas variaciones pueden estar dadas a la cobertura que dichos cultivos brindaron al suelo, de acuerdo con Bayer, (1972) citado por Arias (1992), la EA es la resistencia que los agregados del suelo

oponen a la influencia de factores climáticos como el agua, viento o manipulaciones mecánicas como el paso de maquinaria o ganado. Teniendo en cuenta que durante el periodo de la evaluación el suelo no fue sometido a ninguna labor, además que los cultivos de cobertura lo protegieron de las influencias del agua, haciendo que el mismo pudiese ir recuperando su estructura y por ende la estabilidad.

Otra propiedad que está estrechamente relacionada, es la materia orgánica, debido a que un aumento de la misma es positivo, puesto que es la encargada de mejorar la agregación del suelo, así mismo, facilita el flujo del aire, mejora la retención de humedad, disminuye la resistencia a la penetración y permite un anclaje y crecimiento fácil de las raíces. Además, ayuda a mantener las partículas minerales unidas frente a las fuerzas desestabilizadoras como el humedecimiento e impacto de las gotas de lluvia. Los compuestos de la MO enlazan física y químicamente las partículas primarias en los agregados. La cantidad y distribución de los agregados estables e inestables en el suelo tienen una asociación estrecha con la dinámica de la MO y la calidad del suelo (Pulido y colaboradores., 2009).

4.5. pH

En la tabla 6 se dan a conocer los resultados promedio obtenidos de pH del suelo de la investigación durante el periodo de evaluación y bajo la influencia de los diferentes tratamientos.

Tabla 6. Valores promedios obtenidos para pH y rangos múltiples.

Tratamiento	pH				
	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	8,0 ^a ± 0,12	7,8 ^a ± 0,06	7,8 ^a ± 0,06	7,8 ^a ± 0,10	7,9 ^a ± 0,06
T1	7,9 ^a ± 0,10	7,9 ^{ab} ± 0,00	7,8 ^a ± 0,06	7,8 ^a ± 0,06	8,0 ^a ± 0,06
T2	7,9 ^a ± 0,00	7,9 ^b ± 0,06	7,9 ^a ± 0,06	7,8 ^a ± 0,10	7,9 ^a ± 0,06

Nota:

- No presentan diferencias significativas los resultados que tienen letras iguales en el superíndice (Los rangos múltiples mostrados en la tabla son en base al análisis estadístico aplicado que se realizó respecto a los tratamientos, ver anexo 2).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

De acuerdo a los resultados promedios en la tabla 6 el pH del suelo varía entre 7,8-8,0, clasificándose como ligeramente alcalino. Resultados similares a los que presentan Montero y Torrente (2015) para el municipio de Baraya y de Villavieja.

El pH del suelo está influenciado por su génesis y sus componentes mineralógicos, es así que el suelo de la investigación es rico en materiales calizos, la razón principal de los resultados obtenidos. Por ende, valores elevados o muy bajos influyen sobre la presencia de elementos químicos en los suelos, entonces, es probable que exista abundancia y poca cantidad de ciertos elementos importantes en la nutrición y desarrollo de los cultivos, por este motivo diferentes autores mencionan que el pH óptimo varía entre 6 y 7 (Molina, 2007). Siendo el mismo un indicador para valorar la acidez del suelo, cuando no se presenta un contenido adecuado existe la posibilidad de que algunos nutrientes no estén disponibles para las plantas, por ejemplo cuando se presenta acidificación la presencia de Ca, Mg, P y Zn escasea, mientras en un pH alcalino disminuye la disponibilidad de Al, Fe, y Mn (Shadegian, 2016;

Patiño y colaboradores., (2017) Es necesario aplicar enmiendas para mantener el pH del suelo dentro de un rango óptimo para que la disponibilidad de nutrientes sea mayor y fácil para los cultivos.

Los valores obtenidos para pH durante el periodo de evaluación no variaron demasiado demostrando que las coberturas no tuvieron influencia sobre esta propiedad, además (la tabla 5, Anexos 3) refleja que no existen diferencias significativas entre tratamientos. En cuanto si esta propiedad es susceptible al cambio en relación con las coberturas, Gómez (2015) durante un periodo de 6 meses de evaluación para la misma leguminosa, reporta un incremento de materia orgánica en el suelo, esto afectando también el pH que descendió media unidad, el mismo autor lo atribuye a los componentes humificantes como los ácidos húmicos y fúlvicos presentes en la materia orgánica.

4.6. Conductividad eléctrica

En la tabla 7 se dan a conocer los resultados promedio obtenidos para la conductividad eléctrica del suelo bajo el periodo de evaluación de los Cultivos de cobertura

Tabla 7. Valores promedios obtenidos para la conductividad eléctrica.

CE(ds*m ⁻¹)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	0,52 ^a ± 0,00	0,45 ^a ± 0,03	0,45 ^a ± 0,02	0,43 ^a ± 0,05	0,43 ^a ± 0,04
T1	0,52 ^a ± 0,00	0,44 ^a ± 0,03	0,46 ^a ± 0,03	0,43 ^a ± 0,02	0,42 ^a ± 0,07
T2	0,52 ^a ± 0,00	0,45 ^a ± 0,02	0,45 ^a ± 0,02	0,44 ^a ± 0,06	0,44 ^a ± 0,03

Nota:

- No presentan diferencias significativas los resultados que tienen letras iguales en el superíndice (Los rangos múltiples mostrados en la tabla son en base al análisis estadístico aplicado que se realizó respecto a los tratamientos, ver anexo 2).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

De acuerdo a los resultados obtenidos, el suelo no presenta problemas de salinidad, y con respecto a la variable tiempo y a los tratamientos, no existe gran variación de los resultados, asumiendo que las coberturas no presentan influencia sobre esta variedad, como lo demuestra la tabla 7, en donde no existen diferencias significativas entre tratamientos y respecto al tiempo, en donde en el análisis estadístico aplicado (la tabla 6, Anexos 3) se presentan que los valores promedios oscilaron entre 0,43-0,52. Además no existen problemas perjudiciales respecto a la conductividad eléctrica, lo que permite un buen desarrollo para cualquier cultivo.

Respecto a la variación de esta propiedad en relación con la adición de materia orgánica, ni la aplicación de manera directa de enmiendas orgánicas produce un cambio, Clark y colaboradores. (2007) citado por Monsalve y colaboradores., (2017) encontraron que la aplicación de enmiendas no tuvo efecto sobre la conductividad eléctrica.

5.7. Materia orgánica

En la tabla 8 se da a conocer los valores promedios para la materia orgánica del suelo obtenidos en cada uno de los momentos establecidos durante la evaluación de los cultivos de cobertura.

Tabla 8. Resultados promedios de materia orgánica y rangos múltiples

%M.O					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	0,64 ^a ± 0,11	0,58 ^a ± 0,08	0,64 ^a ± 0,01	0,63 ^a ± 0,04	0,64 ^a ± 0,03
T1	0,64 ^a ± 0,16	0,63 ^a ± 0,13	0,78 ^a ± 0,14	0,73 ^a ± 0,15	0,72 ^{ab} ± 0,15
T2	0,64 ^a ± 0,22	0,60 ^a ± 0,01	0,63 ^a ± 0,15	0,75 ^a ± 0,11	0,96 ^b ± 0,03

Nota:

- No presentan diferencias significativas los resultados que tienen letras iguales en el superíndice (Los rangos múltiples mostrados en la tabla son en base al análisis estadístico aplicado que se realizó respecto a los tratamientos, ver anexo 2).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

De acuerdo a los resultados obtenidos para materia orgánica, se presenta valores muy bajos, los cuales se representa en la figura 11, los mismos oscilaron entre 0,58% y 0,96%, todos menores al 1% considerándose pobre, siendo valores propios de suelos de labor agropecuaria para climas cálidos (en donde la tasa de mineralización es muy alta), suelos sin cobertura, ni aportes frecuentes de enmiendas orgánicas. Es importante reconocer la importancia de la materia orgánica, la cual se encuentra constituida por un amplio conjunto de sustancias de origen diverso, que desarrolla un papel muy importante en relación con la fertilidad, conservación y presencia de vida en los suelos.

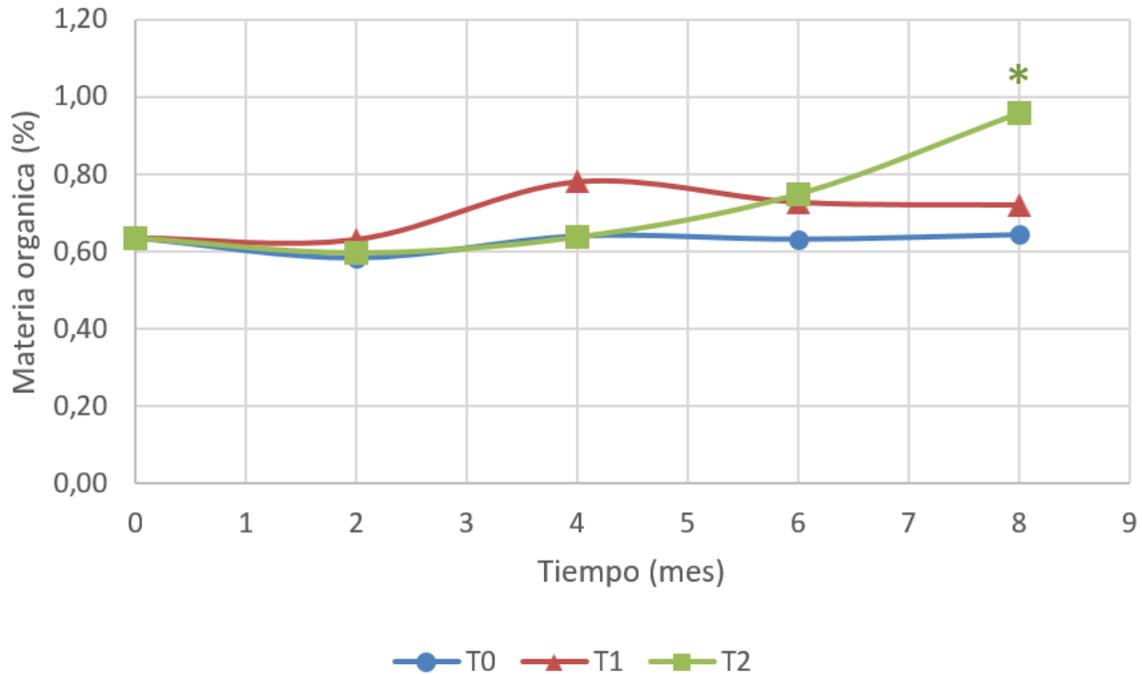


Figura 11. Comportamiento de la materia orgánica durante el periodo de evaluación

Nota:

- La presencia de asteriscos sobre un mes indica que existen diferencias significativas respecto al tiempo en relación con algún mes anterior (El análisis estadístico y rangos múltiples respecto a esta variable se encuentran en el anexo 3).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

En relación con el tiempo y la influencia que pudiesen ejercer los cultivos de cobertura sobre el suelo, en específico sobre esta propiedad no ocurrió un gran aporte de materia orgánica, se esperaba que las coberturas, en especial la leguminosa aportara mediante la biomasa o materia seca de su parte aérea o subterránea, pues es esta la manera de como las leguminosas van mejorando la calidad del suelo, en forma de reciclaje y con fines nutricionales, un aporte potencial de nutrientes al suelo. Sin embargo, esta presentó su valor pico en el mes cuatro (4) (Figura 9), esto puede estar relacionado con la pérdida de hojas que sufrieron los estolones durante el periodo de postsiembra, de acuerdo con Ramos y colaboradores., (2011), esto se encuentra asociado por desecamiento y las mismas vuelven a aparecer con el inicio de lluvias o riego. Gómez (2015) que evaluó la misma leguminosa durante un periodo de seis (6) meses

presenta un incremento de 0,5% de esta propiedad. Altieri (1999), menciona que el valor del cultivo de cobertura para mantener la fertilidad del suelo en los diversos sistemas agrícolas depende de la producción razonable de materia seca y su concentración de nutrientes, mediante el uso de coberturas que puedan logra producir la mayor cantidad de materia seca. En cuanto al pasto Angleton fue la cobertura que realizo un mayor aporte de MO al suelo, debido a que el mismo si presento una cobertura total sobre las parcelas experimentales a partir del mes dos (2) y se encuentra disponible para el consumo animal a partir de los 45 días después de la siembra (Gélvez, s.f), lo que hace que aporte por medio de su biomasa de las macollas y raíces, caigan y constituyan al suelo como materia orgánica fresca. En relación Cairo y *colaboradores.*, (2017), se reportan resultados positivos de materia orgánica en los primeros 20 cm del suelo en sistemas de ganadería en la utilización de pastos como cobertura, el cual tenía un periodo de 6 años de manejo, los mismos también asociados a la biomasa seca que durante el tiempo se iba acumulando y logrando encontrar un equilibrio con la calidad del suelo. Sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico aplicado (Tabla 7, Anexos 3) y la prueba de rangos múltiples (Tabla 8) no existen diferencias significativas entre los tratamientos hasta el mes seis (6), pero en el mes ocho (8) si el pasto angleton sobre el tratamiento testigo que presento constante durante el periodo de evaluación (Figura 9).

Se considera que no se logró un incremento sobre esta propiedad debido principalmente a que no se obtuvo el 100% de la cobertura leguminosa y también al corto tiempo de evaluación, la primera razón está relacionada principalmente con la condiciones edafoclimáticas de la zona, en donde Rincón y *colaboradores.*, (1992) sugiere que no se debe sembrar esta leguminosa en zonas de bosque seco tropical con precipitaciones inferiores a los 1500 mm y la misma logra su mejor desarrollo en suelos con materia orgánica superior

al 3%. En cuanto al tiempo Puertas y *colaboradores.*, (2008) menciona que se logra un establecimiento cercano al 100% de cobertura hasta los 7 meses después de la siembra y Ramos y *colaboradores.*, (2011) reporta que diferentes niveles de sobra pueden favorecer el crecimiento vertical del maní forrajero. Ruiz y Molina (2014) en su revisión de los aportes asociados a las coberturas leguminosas mencionan en los trabajos citados, investigaciones superiores a los 8 meses. A demás Ulate (2009) en su investigación tampoco logro establecer con éxito el *Arachis pintoi*.

Montero y Torrente (2015) reportan para la zona norte del departamento del Huila valores bajos de materia orgánica asociados a las condiciones del clima seco, en específico para el municipio de Baraya valores entre 0,5 y 1,5%, valores similares a los obtenidos.

De acuerdo a los resultados, también se puede comprobar que la materia orgánica juega un papel importante como un indicador del suelo asociado con otras propiedades, por ejemplo, estos valores tan bajos van en relación con una baja estabilidad de los agregados, un alto valor de densidad aparente y por consiguiente un valor bajo de velocidad de infiltración, además de bajos valores en la CIC. Es decir que un incremento de la materia orgánica puede tener efectos positivos múltiples sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

5.8. Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)

En la tabla 9 se presentan los resultados promedio obtenidos para la capacidad de intercambio catiónico durante el periodo de evaluación bajo la influencia de los cultivos de cobertura.

Tabla 9. Resultados promedios de CIC y rangos múltiples

CIC (meq/100 g)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	14,01 ^a ± 1,62	12,59 ^a ± 4,25	13,12 ^a ± 2,71	16,71 ^a ± 2,61	16,74 ^a ± 3,57
T1	14,01 ^a ± 1,62	13,70 ^a ± 1,10	13,97 ^a ± 2,11	16,20 ^a ± 1,43	16,90 ^a ± 2,35
T2	14,01 ^a ± 1,62	13,98 ^a ± 4,21	15,33 ^a ± 4,94	16,80 ^a ± 3,10	16,47 ^a ± 4,09

Nota:

- No presentan diferencias significativas los resultados que tienen letras iguales en el superíndice (Los rangos múltiples mostrados en la tabla son en base al análisis estadístico aplicado que se realizó respecto a los tratamientos, ver anexo 2).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

La CIC consiste principalmente en el conjunto de coloides dotados de cargas negativas capaces de retener los cationes de cambio, como la materia orgánica y las arcillas (Ibáñez, 2007b).

De acuerdo a los resultados promedios obtenidos durante el periodo de evaluación, todos se pueden clasificar dentro de un rango medio de CIC. Lo que significa que los Cultivos de Cobertura tampoco ejercieron influencia sobre la CIC puesto que se mantuvo con valores promedios para todos los tratamientos entre (14,01 – 16,90) meq/100 g (Tabla 9), lo anterior lo demuestra el análisis estadístico aplicado (Tabla 8, Anexos 3). Esta propiedad puede variar en un amplio rango y depende en gran medida de otras, como la textura, en donde estos valores no tan bajos pueden estar asociados a la presencia de arcillas en el suelo, debido a sus propiedades coloidales y densidad de carga que dependiendo del tipo de arcilla, varían entre 3 a 100 meq/100 g, además García y León citados por Ibáñez (2007c) presentan

resultados dentro de este mismo rango para un suelo que posee la misma textura que el de esta investigación. En contraste para la región del norte del Huila, Montero y Torrente (2015) reportan valores similares, entre 11 -23 meq/100 g y en específico para el municipio de Baraya, los datos presentados oscilan entre 15 – 21 meq/100 g.

En cuanto a los resultados obtenidos, también tienen relación con el poco contenido de materia orgánica presente en el suelo, puesto que la misma posee una destacada participación en el complejo, siendo relacionada con valores altos de CIC, pues la M.O presenta valores que oscilan entre 200 a 400 meq/100g. Es así, que Gómez (2015) además de reportar un incremento de la materia orgánica, presenta un incremento de la CIC bajo la influencia de *Arachis pintoi* pasando de un rango bajo a un rango medio, los mismos resultados siendo relacionados con el proceso de humificación y transformación de la materia orgánica lo que favorece a la estructura coloidal que contribuye a la retención de cationes. Por ende, el aporte de materia orgánica puede tener un efecto positivo sobre la CIC, en donde estas propiedades son indicadores de la fertilidad del suelo y a su vez de la calidad.

5.9. Respiración basal del suelo

En la tabla 10 se presentan los resultados promedio obtenidos para la cantidad de emisión de dióxido de carbono para los diferentes tratamientos durante los ocho meses de evaluación.

Tabla 10. Resultados promedios de respiración basal del suelo

Respiración basal (gr CO ₂)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	0,0039 ^a ± 0,00	0,0037 ^a ± 0,00	0,0036 ^a ± 0,00	0,0036 ^a ± 0,00	0,0037 ^a ± 0,00
T1	0,0039 ^a ± 0,00	0,0038 ^a ± 0,00	0,0038 ^a ± 0,00	0,0035 ^a ± 0,00	0,0036 ^a ± 0,00
T2	0,0039 ^a ± 0,00	0,0037 ^a ± 0,00	0,0038 ^a ± 0,00	0,0035 ^a ± 0,00	0,0039 ^a ± 0,00

Nota:

- No presentan diferencias significativas los resultados que tienen letras iguales en el superíndice (Los rangos múltiples mostrados en la tabla son en base al análisis estadístico aplicado que se realizó respecto a los tratamientos, ver anexo 2).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

De acuerdo a los resultados promedios no existe una gran variabilidad de los valores respecto a los tratamientos y al tiempo, los mismos oscilaron entre 0,0034 y 0,0039 gr CO₂ (Tabla 10), lo que expresa que ninguno de las coberturas tuvo influencia sobre la carga microbiana del suelo. En donde el análisis estadístico aplicado (Tabla 9, Anexos 3) evidencia que no existen diferencias significativas entre tratamientos.

La no variación de la respiración edáfica viene dada porque en el suelo no hubo un aporte significativo del material orgánico durante el periodo de evaluación, puesto que la respiración basal es la cantidad de emisiones de CO₂ procedente de la descomposición de la materia orgánica a través de los microorganismos presentes en el suelo (Bragado, 2017), en donde esta es metabolizada por los microorganismos y estos toman de allí la energía necesaria y liberan CO₂, llevando a cabo procesos de mineralización para que los nutrientes se encuentren en forma asimilable para la planta. Es así que la respiración basal del suelo,

funciona como un indicador general de la salud del mismo, la estimación de la actividad microbiana puede constituir un importante indicador, debido a que ésta se incrementa a medida que crecen las poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos que trabajan sobre los substratos orgánicos que dependiendo de la características de estos va existir menor o mayor emisión; es decir, que a la vez es un indicador de la magnitud de las poblaciones y de la calidad de los materiales orgánicos que han ingresado al suelo (Mora, 2006).

En el mismo sentido, Gasca (2010) manifiesta que la aplicación de enmiendas como las vinazas influye positiva y significativamente sobre la actividad microbiana, pues los componentes orgánicos presentes en esta, proporcionan a los microorganismos energía y aumenta la velocidad de crecimiento de la masa microbiana, además de que la inoculación con microorganismos eficientes es un buen complemento.

Otra causa para que no se presentara una variación significativa en la respiración basal es la no cobertura total por parte del maní forrajero pues de aquí depende su aporte de material orgánico al suelo, además de la relación simbiótica de las bacterias pertenecientes al género *rhizobium* y las *Fabaceas*, en donde Zhong y colaboradores., (2018), reportan que el mulching proporcionado por *Arachis pintoii* aumenta la riqueza bacteriana, además Mora (2006) enuncia que las raíces vivas liberan muchos materiales orgánicos dentro de la rizósfera. Por otro lado, ni tampoco el pasto angleton que si durante el mayor periodo de la evaluación presento una cobertura total en cada parcela experimental presento un efecto positivo en la evaluación de esta propiedad, puesto que se crea un micro clima favorable para los microorganismos, en donde factores como la temperatura tienden a disminuir y se logra conservar mejor la humedad. Lo que demuestra que factores como la temperatura y los niveles de materia orgánica son factores más influyentes sobre los microorganismos.

En comparación con los resultados obtenidos de la emisión de CO₂ son similares a los reportados por Castro y *colaboradores.*, (2015) para los suelos pertenecientes a la ecoregión del desierto de la Tatacoa, al igual que Baraya ubicados al Norte del Huila con características climáticas similares, en donde los mismos pueden considerarse como valores elevados debido principalmente a la alta temperatura que se presenta en esta zona, lo que indica un nivel elevado de actividad biológica y evidencia la descomposición rápida de la materia orgánica y la liberación de nutrientes.

4.10 Evaluación de la calidad del suelo

En base a los resultados finales obtenidos (Tabla 11) se realiza la clasificación de la calidad del suelo teniendo en consideración todas las propiedades del suelo evaluadas, asignándole un puntaje (Tabla 12) de acuerdo con las tablas presentadas en el anexo 3.

Tabla 11. Resultados obtenidos para el mes 8.

Variable / tratamiento	T0	T1	T2
Da (gr*cm ⁻³)	1,60 ^a	1,49 ^b	1,50 ^{ab}
Dr (gr*cm ⁻³)	2,27 ^a	2,21 ^a	2,18 ^a
Porosidad (%)	29,3 ^a	32,4 ^a	31,0 ^a
Ib (mm*hr ⁻¹)	10,67 ^a	14,67 ^b	12,00 ^{ab}
EA (mm)	0,66 ^a	0,79 ^b	0,84 ^b
%M.O	0,64 ^a	0,72 ^{ab}	0,96 ^b
pH	7,93 ^a	7,97 ^a	7,93 ^a
CE (ds*m ⁻¹)	0,43 ^a	0,42 ^a	0,44 ^a
CIC (meq/100 g)	16,74 ^a	16,90 ^a	16,47 ^a
Respiración basal (gr CO ₂)	0,0037 ^a	0,0036 ^a	0,0039 ^a

Nota:

- No presentan diferencias significativas los resultados que tienen letras iguales en el superíndice (Los rangos múltiples mostrados en la tabla son en base al análisis estadístico aplicado que se realizó respecto a los tratamientos, ver anexo 2).
- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

Tabla 12. Puntuación asignada a cada propiedad evaluada.

Variable / tratamiento	T0	T1	T2
Da (gr*cm ⁻³)	2,0	3,0	3,0
Porosidad (%)	1,0	1,0	1,0
Ib (mm*hr ⁻¹)	1,0	2,0	1,5
EA (mm)	2,1	2,5	3,0
%M.O	3,0	4,0	5,0
pH	5,0	5,0	5,0
CE (ds*m ⁻¹)	9,0	9,0	9,0
CIC (meq/100 g)	7,0	7,0	7,0
Respiración basal (gr CO ₂)	8,0	8,0	8,0

Nota:

- T0 (testigo) T1 (maní forrajero) y T2 (pasto angleton)

De acuerdo a las tablas de asignación de puntuación un valor más alto representa que la propiedad tiene una mayor calidad, el rango en la mayoría de tablas va de 0 a 10. Es así que para propiedades como la densidad aparente, la porosidad, la velocidad de infiltración, la estabilidad estructural, la materia orgánica y el pH, se encuentran dentro de rangos muy desfavorables. Por consiguiente es necesario tomar decisiones sobre diferentes aplicaciones de enmiendas para mejorarlas, en incrementar la calidad del suelo. No obstante, propiedades como la conductividad eléctrica, la capacidad de intercambio catiónico y la respiración basal del suelo se encuentran dentro de rangos favorables.

En general comparando todos los tratamientos se ve un comportamiento semejante, en donde el promedio obtenido para cada uno es muy similar. Para el maní forrajero se obtuvo 4,6; el pasto angleton 4,7 y para el tratamiento testigo 4,2. De acuerdo a estos resultados se puede clasificar, al tener en cuenta todas las propiedades del suelo evaluadas, dentro de un rango medio de la calidad del suelo.

5. CONCLUSIONES

- Las propiedades físicas fueron las que en su mayoría se vieron beneficiadas por los cultivos de cobertura durante el periodo de evaluación en donde la capacidad de infiltración, la estabilidad de los agregados y la densidad aparente presentaron cambios significativos a través del tiempo, mientras en las propiedades químicas solo la materia orgánica las presento. Sin embargo, a pesar de estos cambios los valores obtenidos siguen estando dentro del mismo rango de clasificación para cada indicador.
- El cultivo de cobertura que presento los mejores resultados fue el pasto Angleton, el cual, si presento una cobertura total durante el periodo de evaluación, mientras que el maní forrajero no logro cubrir todo el suelo, sin embargo, presentando resultados muy similares a los del pasto angleton, inclusive superándolo en propiedades como la capacidad de infiltración y la densidad aparente.
- Se recomienda el uso de cultivo de coberturas como alternativas para mejorar o recuperar la calidad del suelo, sin embargo, se requieren de largos periodos de tiempo para obtener cambios realmente significativos. Además, Se recomiendan para la recuperación y consumo silvopastoril el uso combinado de la gramínea y cobertura viva investigada.
- Se descartó la aplicación de la prueba medición de biomasa seca y viva debido a que no se presentó un desarrollo foliar pertinente en la cobertura viva.

6. RECOMENDACIONES

Se deben aplicar enmiendas orgánicas de manera directa al suelo de la investigación, para tratar de mejorar propiedades como la materia orgánica, CIC, pH, EA, Da y velocidad de infiltración, para de esta manera mejorar condiciones de fertilidad y a su vez la calidad del suelo.

Es importante para quienes deseen implementar el maní forrajero como cobertura viva cumplan con las condiciones edafoclimáticas en la zona a establecer, pues si no las hay existe el riesgo de no lograrlo.

Se podría evaluar el potencial del maní forrajero como una cobertura muerta y compararlo con los beneficios asociados como cobertura viva. Para establecer cuál es la forma más óptima y eficaz de su empleo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abi-Saab Arrieche, R. 2012. Evaluación de la calidad del suelo, en el sistema productivo orgánico la estancia, Madrid, Cundinamarca.

Ademe, Y., Kebede, T., Mullatu, A., & Shafi, T. (2017). Evaluation of the effectiveness of soil and water conservation practices on improving selected soil properties in Wonago district, Southern Ethiopia. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 8(3), 70-79.

Alessandri, 2014. Cultivos de Cobertura. Obtenido de:
<https://www.forrattec.com.ar/manuales/pdfs/23-20140704091127-pdfEs.pdf>

Alvarado, A., & Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 29(1), 85-94.

Alvarado-García, V., Bermúdez-Rojas, T., Romero-Vargas, M., & Piedra-Castro, L. (2011). Selección de plantas para el control de la erosión hídrica en Costa Rica mediante la metodología de criterio de expertos. *Recursos Naturales y Ambiente*, (63).

Argel, M., & Villarreal, C. (1998). Nuevo maní forrajero perenne (*Arachis pintoi* Krapovickas y Gregory). Cultivar Porvenir (CIAT 18744) leguminosa herbácea para alimentación animal, el mejoramiento y conservación del suelo y el embellecimiento del paisaje (No. 633.2 A687). IICA, San José (Costa Rica) CIAT, Cali (Colombia) Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José (Costa Rica).

Borroto Pérez, M., Pérez Carmenate, R., Borroto Pérez, A., Cepero, R. M., & Cubillas, N. (2001). Impacto sobre el suelo de leguminosas herbáceas comomejoradores de las coberturas naturales en plantaciones decítricos. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 5(2).

Bragado, Raúl. 2017. Respiración del Suelo. Consultado en:
<https://www.tiloom.com/respiracion-del-suelo/>

Buckles, D., & Barreto, H. J. (1996). Intensificación de sistemas de agricultura tropical mediante leguminosas de cobertura: Un Marco conceptual.

Brouwer, C., Prins, K., Kay, M., & Heibloem, M. (1985). Irrigation Water Management: Training Manual No. 5: Irrigation methods. Irrigation water management: Training manual no. 5.

Cairo-Cairo, P., Reyes-Hernández, A., Aro-Flores, R. V., & Robledo-Ortega, L. (2017). Efecto de las coberturas en algunas propiedades del suelo. Finca La Morrocuya, Barinas, Venezuela. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 127-134.

Cardona, D. A., & SADEGHIAN, S. (2006). Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra ya plena exposición solar.

Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista ecosistemas*, 13(2).

Cruz, P. (1997). Effect of shade on the carbon and nitrogen allocation in a perennial tropical grass, *Dichanthium aristatum*. *Journal of Experimental Botany*, 48(1), 15-24.

DANE (2016). ENA (Encuesta Nacional Agropecuaria) obtenido de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>.

Eyherabide, M., Saínz Rozas, H., Barbieri, P., & Echeverría, H. E. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo*, 32(1), 13-19.

FAO (2000). Cultivos de Cobertura para la Agricultura Sostenible en América. Obtenido de: <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/AGROFOR1/Pound7.htm>.

FAO (2015). Principios básicos de la agricultura de conservación. Obtenido de: <http://www.fao.org/ag/ca/es/1b.html>.

FAO (2015b). Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables. Obtenido de: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/277721/>

García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.

Gasca Valderrama, C. A. Cambio en el PSI y la RAS de un suelo y su influencia en la actividad biológica y la biomasa microbiana (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira).

Gélvez, s.f. Angleton - *Dichantium aristatum* Benth. Consultado en: <http://mundopecuario.com/tema191/gramineas/angleton-1047.html>

Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Catie.

Gómez Forero, D. M. (2015). Evaluación de la eficiencia del maní forrajero (*Arachis pintoi*) en el mejoramiento de la calidad de suelos, en condiciones de competencia en un arreglo agroforestal sin manejo agronómico.

González Cueto, O., Iglesias Coronel, C. E., & Herrera Suárez, M. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2).

Hernández Jiménez, A., Cabrera Rodríguez, A., Borges Benítez, Y., Vargas Blandino, D., Bernal Fundora, A., Morales Díaz, M., & Ascanio García, M. O. (2013). Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana. *Cultivos Tropicales*, 34(3), 45-51.

Hoogendam, Paul; Lusa, Danilo; Maita, Juan Carlos. 2007. Aumentar la disponibilidad de agua en el suelo. Consultado en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:doBgUdeZ9TkJ:www.riegobolivia.org/zpanel/web/web.php%3Fsmodule%3Dbiblio%26accion%3DdownloadDoc%26id%3D14479+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>

Huerta, E. (2007). Incremento de la fertilidad del suelo mediante el uso de lombrices de tierra (*Glossoscolecidae* y *Acanthodrilidae*) y leguminosas (*Arachis pintoi*) en un suelo de traspatio. *Ciencia Ergo Sum*, 14(2).

Ibañez (2007a). Grietas del Suelo, Actividad biológica, Pedregosidad y Circulación del Agua: Los problemas de la Física del Suelo. Obtenido de: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/03/27/62369>

Ibañez, 2007b. El Complejo de Cambio o Complejo Adsorbente de los Suelos. Obtenido de: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/30/66696>

Ibañez (2007c). ¿Cuánto Pesa un Metro Cuadrado de la Capa Arable del Suelo?: ¿Qué es la Densidad Aparente? (por Régulo León Arteta). Consultado en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/16/65688>.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2006. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1990. Manual de métodos analíticos de laboratorio de suelos. Subdirección agrológica. Bogotá: IGAC.

INTA (2008). El suelo y su conservación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

INATEC, 2016. Manual del protagonista pastos y forrajes. Obtenido de: https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual_de_Pastos_y_Forrajes.pdf.

Jennifer Katusca Castro, Nestor Enrique Cerquera and Freddy Humberto Escobar. 2015. A comparative analysis of respiratory activity and mineralization index in soils of different locations of the dry tropical woodlands in huila-state, colombia. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences

Kunst, C., Ledesma, R., Nickish, M. B., Angella, G., Prieto, D., & Godoy, J. (2003). Rolado de " fachinales" e infiltración de agua en suelo en El Chaco Occidental (Argentina). Revista de Investigaciones Agropecuarias, 32(3), 105-126.

López Silva, A. A., & Vega Norori, I. (2004). Cultivos de cobertura para sistemas de cultivos perennes.

Marín, M. A. M., Pescador, L. R., Ramos, L. R., & Charry, J. L. A. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería y Región*, 17, 1-12.

Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96.

Morell Planes, F., & Hernández Jiménez, A. (2008). Degradación de las propiedades agrobiológicas de los suelos Ferralíticos rojos lixiviados por la influencia antrópica y su respuesta agroproductiva al mejoramiento. *Agronomía Tropical*, 58(4), 33-343.

Monsalve Camacho, O. I., Gutiérrez Díaz, J. S., & Cardona, W. A. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión.

Montero y Torrente (2015). Diagnóstico de la fertilidad de los suelos del departamento del Huila. Tesis de pregrado Ingeniería Agrícola, Universidad Surcolombiana.

Mula JA & Ruiz de Angulo J, s.f. Como solucionar un suelo compactado. Consultado en: <https://www.agromatica.es/soluciones-ante-un-suelo-compactado/>

Mora, J. (2006). La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 1-6.

Murillo, J., Rodríguez, G., Roncallo, B., Amparo Rojas, L., & Bonilla, R. R. (2014). Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Pastos y Forrajes*, 37(3), 270-278.

Muñoz Ivan., Miranda Osear. (1985). Manejo de suelo y velocidad de infiltración del agua de riego en un parronal cv. Sultanina. Consultado en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:JemvBA2nPb4J:biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/IPA/NR03784.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>

Noguera, M. A., & Vélez, J. A. (2011). Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(1), 40-52.

Obando, M. F. H., Tobasura, A. I., & Miranda, G. J. (2011). Evaluación de la calidad del suelo por medio de indicadores locales en sistemas con predominio de café y ganadería en zonas de ladera en Colombia. Manejo agroecológico como ruta para lograr la sostenibilidad de fincas con café y ganadería, (ser. Técnica, no. ser. 387), Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 71-91.

Parra-Delgado, J. M., Velázquez-Alcaraz, T. D. J., Quero-Gutiérrez, E., Partida-Ruvalcaba, L., Díaz-Valdés, T., Galván-Piña, B., & Ayala-Tafoya, F. (2014). Uso de composta, minerales primarios amorfos y microorganismos para la producción y calidad de tomate. *Intropica*, 102-110.

Pérez Arias, J. (1992). Estudio de la estabilidad estructural del suelo en relación con el complejo de cambio (comportamiento de algunos suelos característicos españoles) (Doctoral dissertation, Agronomos).

Pérez, A., & Peroza, C. V. (2013). Micorrizas arbusculares asociadas al pasto angleton (*Dichanthium aristatum* Benth) en fincas ganaderas del municipio de Tolú, Sucre-Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 18(1), 3362-3369.

Peters, M., Franco, T., Schmidt, A., & Hincapié, B. (2011). Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores del Trópico Americano.

Pinzón, A., & Amézquita, E. (1991). Compactación de suelos por el pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. *Pasturas tropicales*, 13(2), 21-26.

Pizarro, R., & Flores, J. (2008). Módulo 3 Curvas de infiltración. Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos.

Puertas, F., Arévalo, E., Zúñiga, L., Alegre, J., Loli, O., Soplin, H., & Baligar, V. (2008). Establecimiento de cultivos de cobertura y extracción total de nutrientes en un suelo de trópico húmedo en la amazonia Peruana. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 23-28.

Prieto-Méndez, J., Prieto-García, F., Acevedo-Sandoval, O. A., & Méndez-Marzo, M. A. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía mesoamericana*, 24(1).

Pulido-Moncada, M. A., Lobo-Luján, D., & Lozano-Pérez, Z. (2009). Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agrociencia*, 43(3), 221-230.

Ramos-Hernández, E., Sol-Sánchez, Á., Guerrero-Peña, A., Obrador-Olán, J. J., & Carrillo-Ávila, E. (2011). Efecto de *Arachis pintoi* sobre las Arvenses asociadas al plátano macho (*Musa aab*), cárdenas, tabasco, México. *Agronomía mesoamericana*, 22(1), 51-62.

Ramos Hernández, E., Sol Sánchez, Á., Guerrero Peña, A., & Obrador Olán, J. J. (2011). *Arachis pintoi* como cobertura de suelo en cultivos de platano macho (*Musa AAB*) en Cardenas, Tabasco, Mexico. *Cultivos Tropicales*, 32(4).

Restrepo, J. (2007). El ABC de la Agricultura Orgánica y Panes de piedra. *Abonos orgánicos fermentados*, 1, 12-26.

Rincón Castillo, A., Cuesta Muñoz, P. A., Pérez Bonna, R. A., Lascano, C. E., & Ferguson, J. E. (1992). Maní forrajero perenne (*Arachis pintoi* Krapovickas y Gregory): Una alternativa para ganaderos y agricultores.

Rincón, C., Cuesta, M., Pablo, A., Ferguson, J., Lascano, C. E., & Pérez, B. (1992). Mani forrajero perenne (*Arachis Pintor* Krapovickas y Gregory) una alternativa para ganaderos y agricultores (No. D-0671). ICA; CIAT.

Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y. J., & Menjivar-Flores, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541.

Rodríguez, A., Pulido, M. A., Rey, J. C., Lobo, D., Araque, H., & Rivero, C. (2010). Efecto del pisoteo en sistemas de producción de cerdos a campo sobre propiedades del suelo. *Agronomía tropical*, 60(2), 119-130.

Ruiz, E., & López, D. L. M. (2014). Revisión de literatura sobre beneficios asociados al uso de coberturas leguminosas en palma de aceite y otros cultivos permanentes. *Revista Palmas*, 35(1), 53-64.

Staver, C. (1996). *Arachis pintoi* como cobertura en el cultivo de café. Resultados de investigación y experiencias con productores en Nicaragua. Experiencias regionales con *Arachis pintoi* y planes futuros de investigación y promoción de la especie en México, Centroamérica y el Caribe. Cali, Colombia. Documento de trabajo, (159).

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay.

Sancho, F., & Cervantes, C. (1997). El uso de plantas de cobertura en sistemas de producción de cultivos perennes y anuales en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 21(1), 111-120.

Sadeghian, S. (2016). La acidez del suelo una limitante común para la producción de café.

Seguel, S., García de Cortázar, G. D. C., & Casanova, P. (2003). Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura técnica*, 63(3), 287-297.

Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2006). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana.

Tasistro (2013). Suelos compactados. pág. 54. Obtenido de: [http://mca.ipni.net/ipniweb/region/mca.nsf/0/45E1C8099FAB8B8185257BEC00590B51/\\$FILE/Suelos%20compactados.pdf](http://mca.ipni.net/ipniweb/region/mca.nsf/0/45E1C8099FAB8B8185257BEC00590B51/$FILE/Suelos%20compactados.pdf).

Tivano, J. C., & Heinzen, F. A. (2017). Anatomía cuantitativa en 3 cultivares de *Dichanthium aristatum* (Poiret) C E. Hubbard (Poaceae) para inferir su valor forrajero. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 101(1), 15-23.

Ulate-Sánchez, M. F. (2009). Efecto del *Arachis pintoi* y la fertilización nitrogenada sobre la producción y composición botánica en pasturas de *Brachiaria brizantha* CV. Toledo y *Brachiaria* híbrido CV. mulato II.

USDA, 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo.

Uribe, S., E. Huerta, V. Geissen, R. Godoy. 2014. Reproducción de *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta) mediante una dieta con *Arachis pintoi* (Fabaceae) en mesocosmos. *Investigaciones en Ciencias Biológicas, Recursos Naturales* (4): 353-366.

Vallejo-Quintero, V. E. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1), 83.

Valles, B., & Castillo, E. (2006). Experiencias en el establecimiento de *Arachis pintoi* Krapov & WC Greg. Como cobertura en cítricos de Veracruz, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 10(1).

Venanzi, S., Vallati, A., & Kruger, H. (2002). Crecimiento temprano del trigo en función de la densidad aparente del suelo. *Actas XVIII Congr. Argentino de la Ciencia del Suelo*. Puerto Madryn, Chubut.

Sasal, C., Andriulo, A., Ullé, J., Abrego, F., & Bueno, M. (2000). Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas en sistemas de producción hortícola del centro norte de la región pampeana húmeda. *Ciencia del Suelo*, 18(2), 95.

Yong, A. (2010). La biodiversidad florística en los sistemas agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 31(4), 00-00.

Zwart-Muilwijk, M. A., Rojo-Saucedo, J. M., de la Cruz, R., & Yeomans, J. (2005). Coberturas y la salud del suelo. Cover crops and soil health. *Tierra Tropical: Sostenibilidad, Ambiente y Sociedad*, 1(1), 9-20.

Zhong, Z., Huang, X., Feng, D., Xing, S., & Weng, B. (2018). Long-term effects of legume mulching on soil chemical properties and bacterial community composition and structure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 268, 24-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.09.001>

8. ANEXOS

Anexo 1. Graficos de Medias para los cultivos de cobertura mediante el método de Tukey HSD.

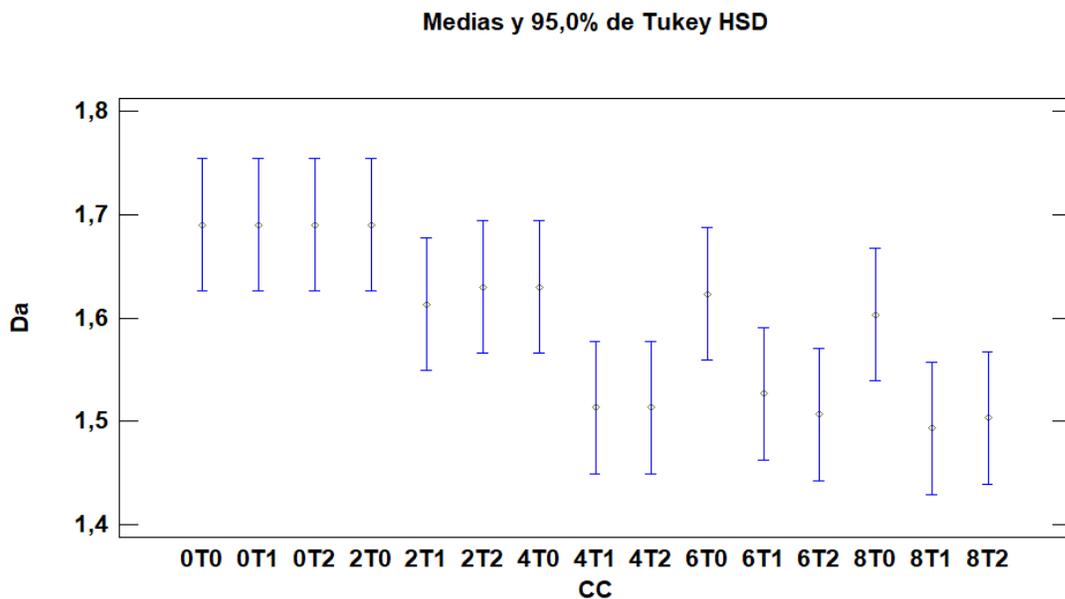


Figura 10. Gráfico de medias para la densidad aparente.

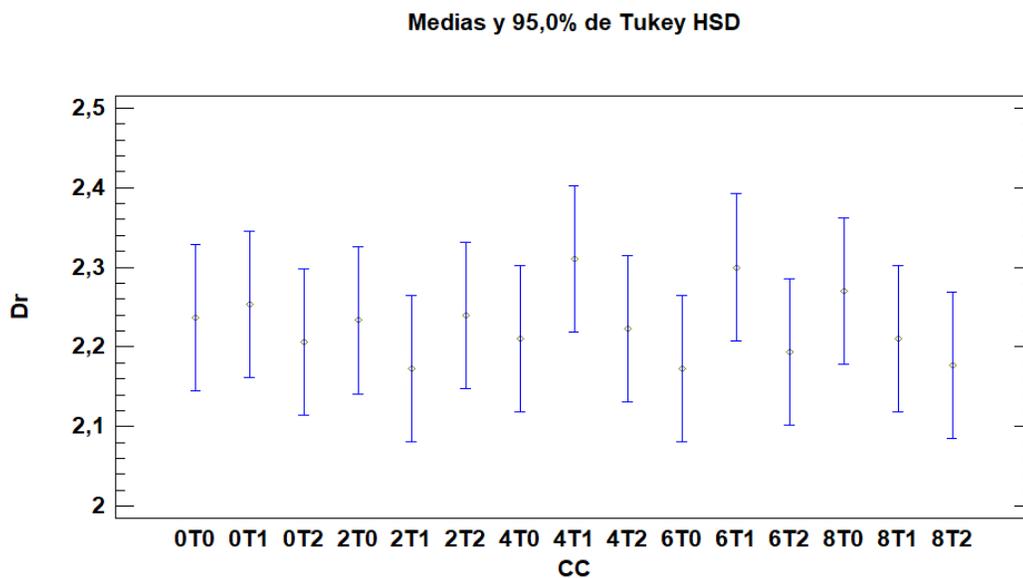


Figura 11. Gráfico de medias para la densidad real.

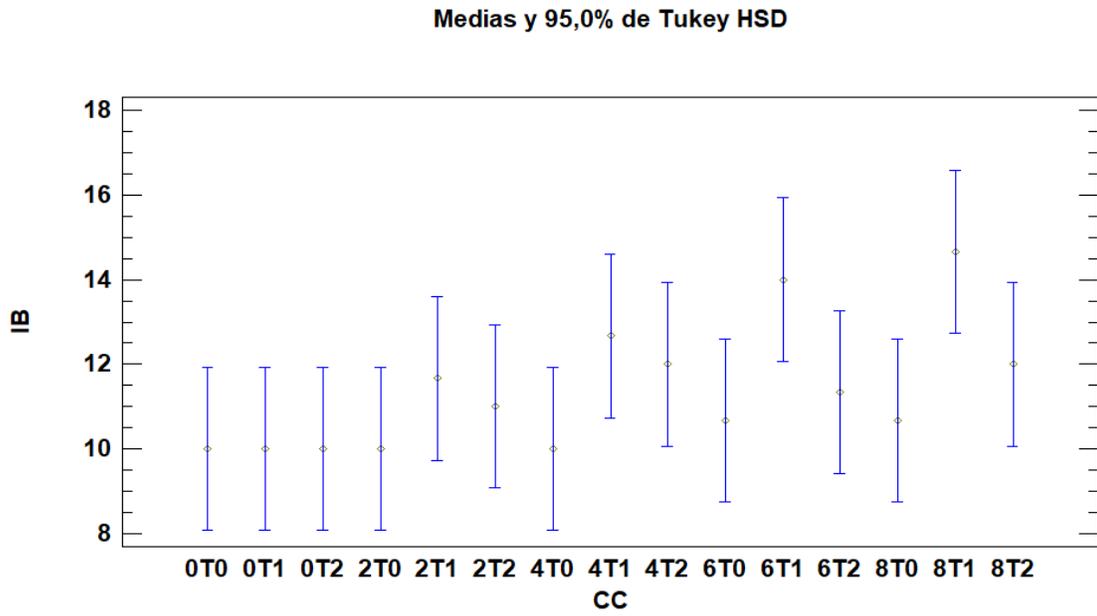


Figura 12. Gráfico de medias para la infiltración básica.

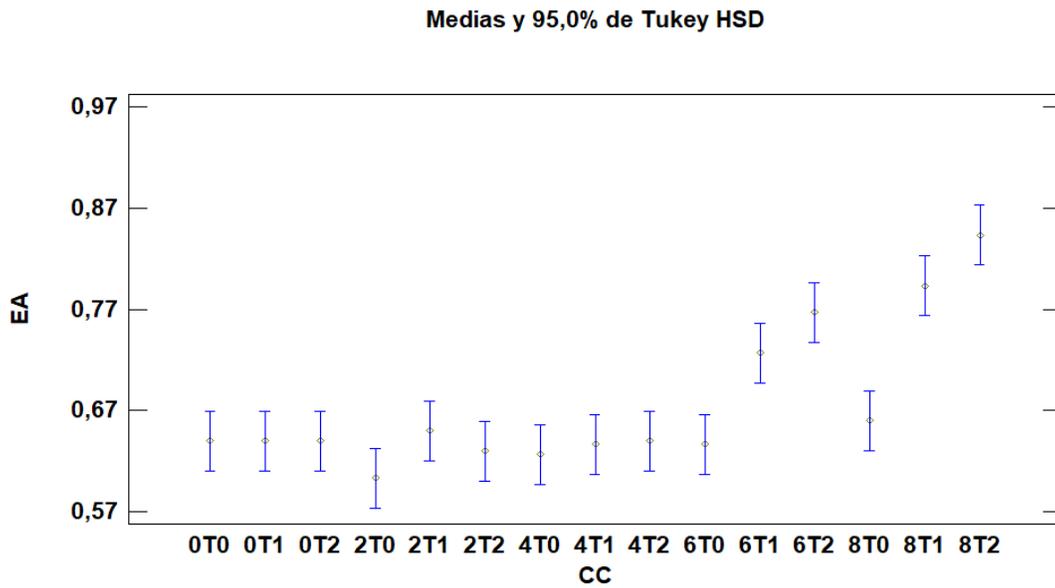


Figura 13. Gráfico de medias para la estabilidad estructural de los agregados

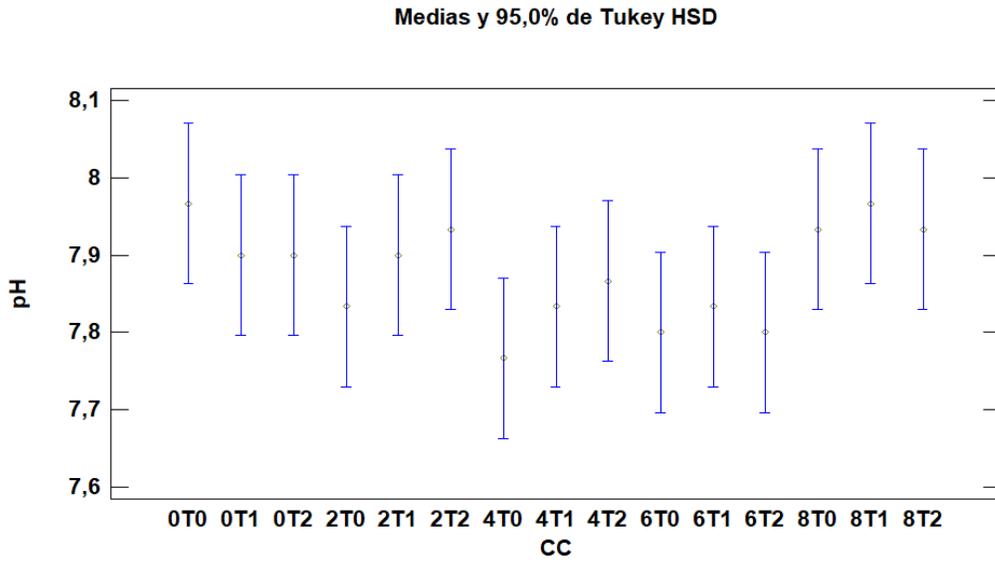


Figura 14. Gráfico de medias para el pH

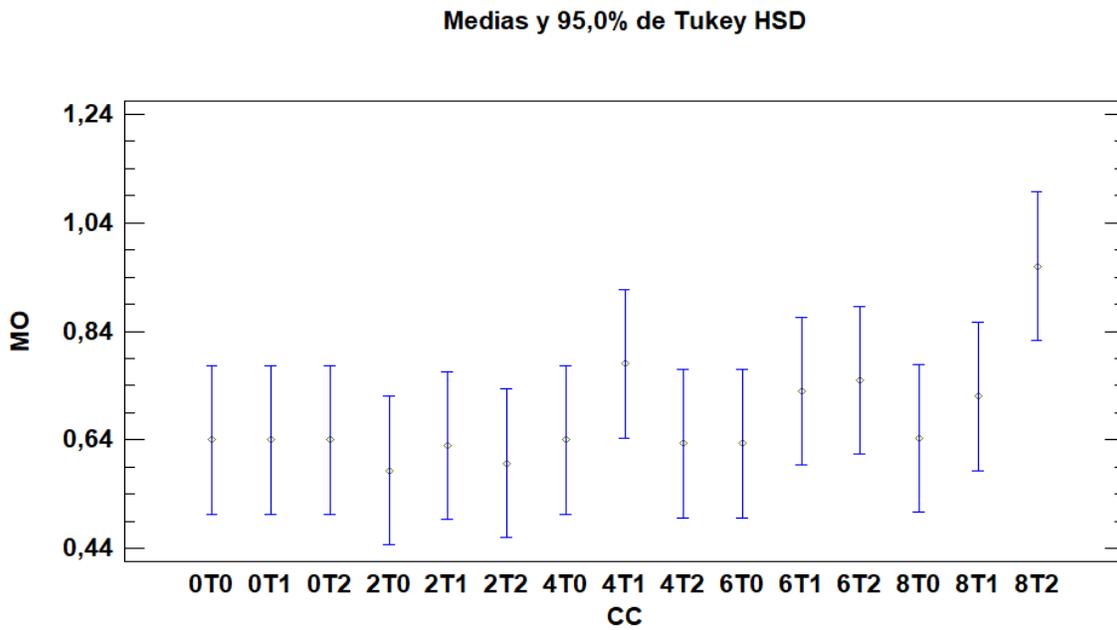


Figura 15. Gráfico de medias para la materia orgánica.

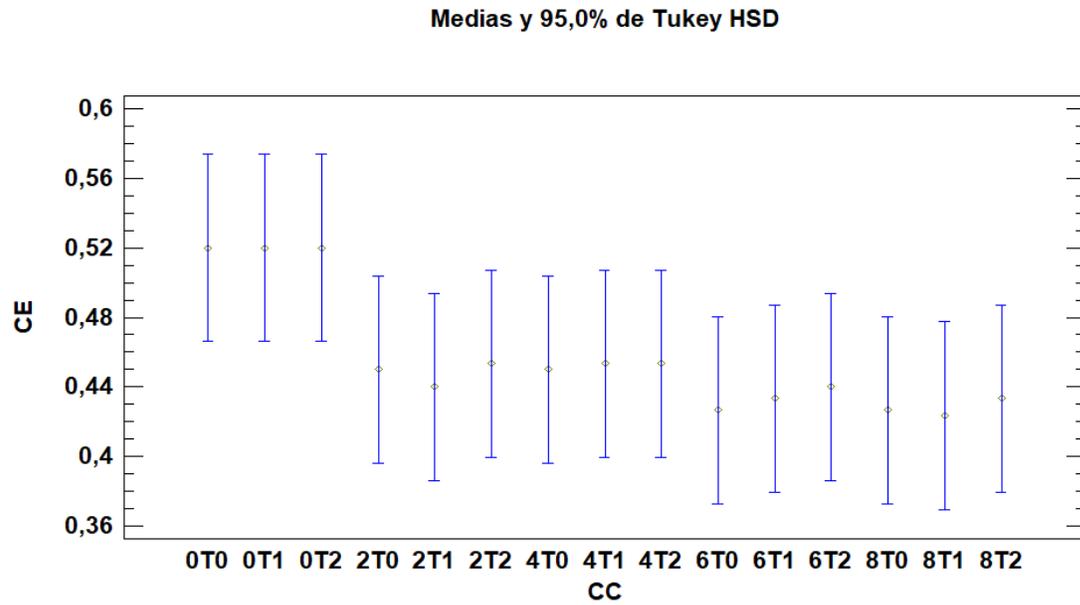


Figura 16. Gráfico de medias para la conductividad eléctrica.

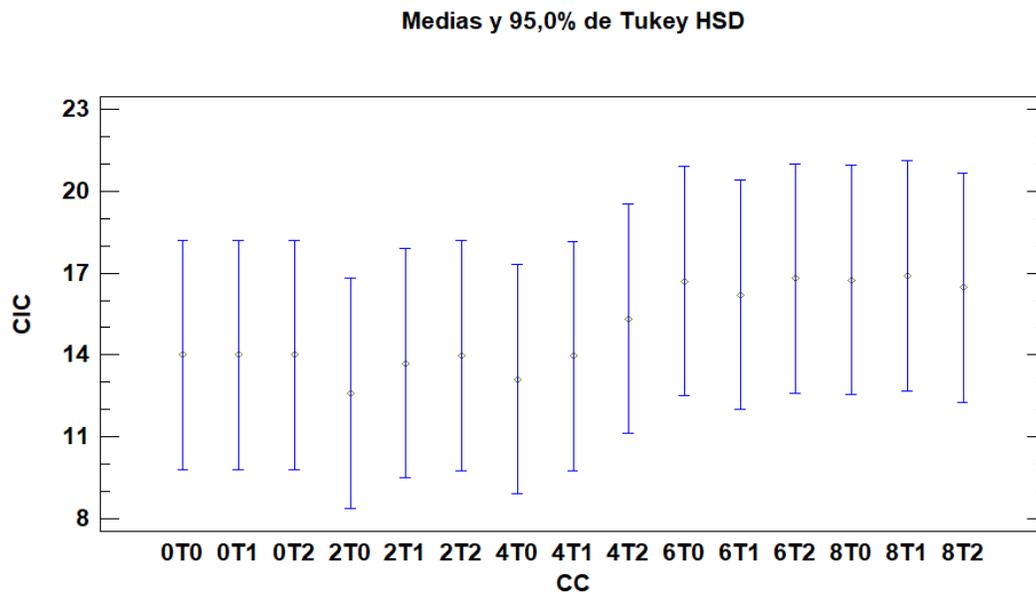


Figura 17. Gráfico de medias para la capacidad de intercambio catiónico.

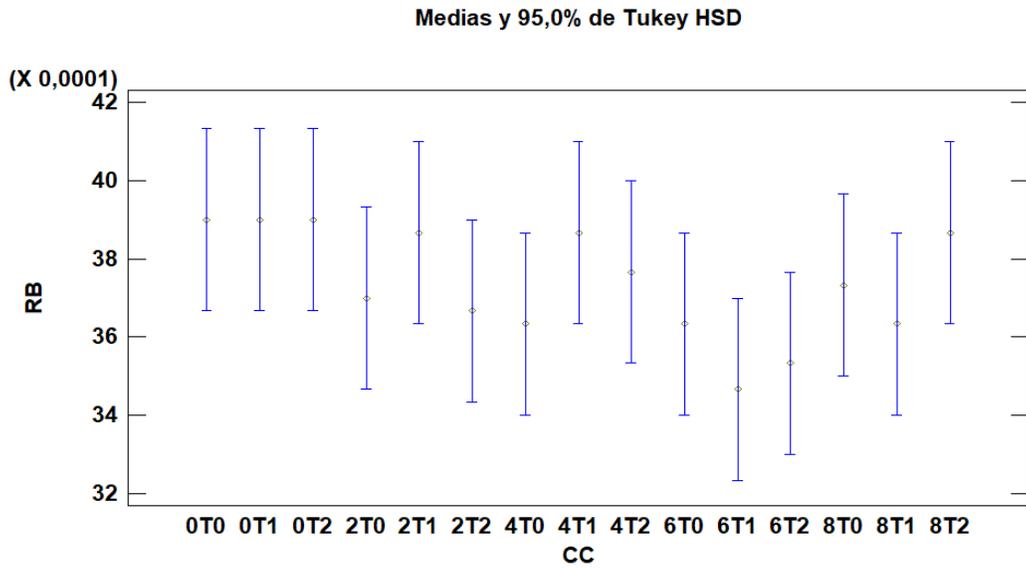


Figura 18. Gráfico de medias para la respiración basal del suelo.

Anexo 2. Análisis estadístico entre tratamientos para las propiedades evaluadas.

Algunas propiedades no presentan la tabla de análisis estadístico para el mes 0, puesto que se asume para el diagnóstico inicial del suelo un valor único.

Densidad Aparente

Tabla 1. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 2

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:CC	0,00975556	2	0,00487773	2,51	0,1963
B:BLOQUE	0,00108889	2	0,0005444	0,23	0,7695
RESIDUOS	0,00777773	4	0,0019444		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0136222	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 2. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 4

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,0272222	2	0,0136111	2,54	0,1942
B:Bloques	0,0102889	2	0,00514444	0,96	0,4567
RESIDUOS	0,0214444	4	0,00536111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0589556	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 3. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 6

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,0233556	2	0,0116773	25,33	0,0054
B:Bloques	0,000355556	2	0,000177773	0,39	0,7029
RESIDUOS	0,00134444	4	0,000461111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0255556	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 4. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 8

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Bloques	0,0013	2	0,0009	0,64	0,5727
B: Tratamiento	0,0222	2	0,0111	7,93	0,0406
RESIDUOS	0,0056	4	0,0014		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0296	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Densidad Real

Tabla 5. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 0

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tratamiento	0,00335556	2	0,00167773	0,23	0,7669
B: Bloques	0,00375556	2	0,00137773	0,32	0,7447
RESIDUOS	0,0236444	4	0,00591111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0307556	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 6. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 2

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tratamiento	0,00303339	2	0,00404444	1,54	0,3194
B: Bloques	0,00432222	2	0,00241111	0,92	0,4699
RESIDUOS	0,0105111	4	0,00262778		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0234222	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 7. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 4

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,00303339	2	0,00404444	1,54	0,3194
B:Bloques	0,00432222	2	0,00241111	0,92	0,4699
RESIDUOS	0,0105111	4	0,00262778		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0234222	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 8. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 6

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,0273222	2	0,0139111	23,13	0,0044
B:Bloques	0,0113556	2	0,00567773	11,43	0,0220
RESIDUOS	0,00197773	4	0,000494444		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0411556	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 9. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 8

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,0134222	2	0,00671111	3,78	0,1199
B:Bloques	0,00335556	2	0,00167778	0,94	0,4616
RESIDUOS	0,00711111	4	0,00177778		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0238889	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Capacidad de infiltración

Tabla 10. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 2

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	4,22222	2	2,11111	2,71	0,1300
B:Bloques	1,55556	2	0,77773	1,00	0,4444
RESIDUOS	3,11111	4	0,77773		
TOTAL (CORREGIDO)	3,33339	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 11. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 4

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	11,5556	2	5,77778	1,30	0,3673
B:Bloques	0,88889	2	0,444444	0,10	0,9070
RESIDUOS	17,7778	4	4,44444		
TOTAL (CORREGIDO)	30277)	8			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 12. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 6

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	18,6667	2	5,3333	14,00	0,0156
B:Bloques	10,6667	2	9,3333	8,00	0,0400
RESIDUOS	2,66667	4	0,66667		
TOTAL (CORREGIDO)	32,0	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 13. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 8

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	24,8889	2	12,4444	7,00	0,0494
B:Bloques	6,22222	2	3,11111	1,75	0,2344
RESIDUOS	7,11111	4	1,77773		
TOTAL (CORREGIDO)	3,2222	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Estabilidad estructural de los agregados

Tabla 14. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 2

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,00328889	2	0,00164444	4,17	0,1051
B:Bloques	0,000688889	2	0,000344444	0,87	0,4845
RESIDUOS	0,00157778	4	0,000394444		
TOTAL (CORREGIDO)	0,00555556	8			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 15. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 4

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,000233339	2	0,000144444	0,31	0,7475
B:Bloques	0,0000333339	2	0,0000444444	0,10	0,9102
RESIDUOS	0,00134444	4	0,000461111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,00222222	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 16. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 6

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,0266	2	0,0133	133,00	0,0002
B:Bloques	0,0013	2	0,0009	9,00	0,0331
RESIDUOS	0,0004	4	0,0001		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0233	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 17. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 8

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,0533339	2	0,0269444	24,25	0,0058
B:Bloques	0,0000333339	2	0,0000444444	0,04	0,9612
RESIDUOS	0,00444444	4	0,00111111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0534222	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

pH

Tabla 18. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 0

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,00888889	2	0,00444444	0,57	0,6049
BBloques	0,0155556	2	0,00777778	1,00	0,4444
RESIDUOS	0,0311111	4	0,00777778		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0555556	8			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 19. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 2

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,0155556	2	0,00777778	7,00	0,0494
ABloques	0,00888889	2	0,00444444	4,00	0,1111
RESIDUOS	0,00444444	4	0,00111111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0288889	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 20. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 4

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,0155556	2	0,00777773	2,30	0,1736
B:Bloques	0,00333339	2	0,00444444	1,60	0,3036
RESIDUOS	0,0111111	4	0,00277773		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0355556	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 21. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 6

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,00299999	2	0,00111111	0,14	0,8711
BBloques	0,0155556	2	0,00777778	1,00	0,4444
RESIDUOS	0,0311111	4	0,00777778		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0488889	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 22. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 8

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,00222222	2	0,00111111	0,40	0,6944
B:Bloques	0,00333339	2	0,00444444	1,60	0,3086
RESIDUOS	0,0111111	4	0,00277778		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0222222	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Conductividad Eléctrica

Tabla 23. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 2

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tratamiento	0,000288889	2	0,000144444	0,12	0,8878
B: Bloques	0,000155556	2	0,000077778	0,07	0,9371
RESIDUOS	0,00471111	4	0,00117778		
TOTAL (CORREGIDO)	0,00515556	8			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 24. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 4

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tratamiento	0,000022222	2	0,000011111	0,01	0,9870
B: Bloques	0,000955556	2	0,000477778	0,57	0,6076
RESIDUOS	0,00337778	4	0,000844444		
TOTAL (CORREGIDO)	0,00435556	8			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 25. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 6

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tratamiento	0,000266667	2	0,000133333	0,10	0,9091
B: Bloques	0,00336667	2	0,00443333	3,24	0,1455
RESIDUOS	0,00546667	4	0,00136667		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0146	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura = Tratamientos

Tabla 26. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 8

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,000155556	2	0,0000777778	0,04	0,9588
B:Bloques	0,00808889	2	0,00404444	2,21	0,2254
RESIDUOS	0,00731111	4	0,00132773		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0155556	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Materia Orgánica

Tabla 27. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 2

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado	Razón-	Valor-
EFFECTOS					
A:Tratamiento	0,00346667	2	0,00173333	0,31	0,7523
B:Bloques	0,0266667	2	0,0133333	2,35	0,2111
RESIDUOS	0,0226667	4	0,00566667		
TOTAL	0,0523	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Tabla 28. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 4

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,0411556	2	0,0205778	1,63	0,3029
B:Bloques	0,0374339	2	0,0187444	1,49	0,3287
RESIDUOS	0,0503773	4	0,0125944		
TOTAL (CORREGIDO)	0,129022	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Tabla 29. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 6

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS					
A:Tratamiento	0,0233556	2	0,0116773	0,63	0,5799
B:Bloques	0,00223339	2	0,00114444	0,06	0,9413
RESIDUOS	0,0745773	4	0,0136444		
TOTAL (CORREGIDO)	0,100222	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Tabla 30. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 8

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,163756	2	0,0818778	12,02	0,0203
B:Bloques	0,0216222	2	0,0108111	1,59	0,3103
RESIDUOS	0,0272444	4	0,00681111		
TOTAL (CORREGIDO)	0,212622	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Capacidad de intercambio catiónico

Tabla 31. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 2

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Bloques	21,5473	2	10,7736	0,32	0,5027
B:Tratamiento	3,22047	2	1,61023	0,12	0,3373
RESIDUOS	52,5073	4	13,1263		
TOTAL (CORREGIDO)	77,275	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Tabla 32. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 4

Fuente	Suma de Cuadrados	G	Cuadrado	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS					
A:Tratamiento	7,4562	2	3,7231	0,23	0,7694
B:Bloques	19,1486	2	9,5743	0,72	0,5410
RESIDUOS	53,243	4	13,312		
TOTAL (CORREGIDO)	79,3523	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Tabla 33. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 6

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,625422	2	0,312711	0,04	0,9603
B:Bloques	6,32936	2	3,16463	0.41	0,6362
RESIDUOS	30,543	4	7,63699		
TOTAL (CORREGIDO)	37,5023	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Tabla 34. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 8

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0,288867	2	0,144433	0,01	0.9409
B:Bloques	6,32347	2	3,41173	0.22	0.8145
RESIDUOS	63,1555	4	15,7339		
TOTAL (CORREGIDO)	70,2673	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Respiración basal del suelo

Tabla 35. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 2

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	4,66667E-8	2	2,33333E-8	7,00	0,0494
B:Bloques	8,E-8	2	4,E-8	12,00	0,0204
RESIDUOS	1,33333E-8	4	3,33333E-9		
TOTAL (CORREGIDO)	1,4E-7	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Tabla 36. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 4

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	8,22222E-8	2	4,11111E-3	1,63	0,2951
B:Bloques	2,222E-9	2	1,11111E-9	0,05	0,9560
RESIDUOS	9,77773E-3	4	2,44444E-8		
TOTAL (CORREGIDO)	1,82222E-7	S			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura.

Tabla 37. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 6

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	4,22222E-8	2	2,11111E-8	1,19	0,3937
B:Bloques	2,88889E-8	2	1,44444E-8	0,81	0,5057
RESIDUOS	7,11111E-3	4	1,77778E-8		
TOTAL (CORREGIDO)	1,42222E-7	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Tabla 38. Análisis estadístico entre tratamientos para el mes 8

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	3,22222E-3	2	4,11111E-8	0,96	0,4562
B:Bloques	2,23339E-7	2	1,14444E-7	2,63	0,1830
RESIDUOS	1,71111E-7	4	4,27778E-8		
TOTAL (CORREGIDO)	4,32222E-7	3			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura =Tratamientos

Anexo 3. Tablas de análisis de varianza y rangos múltiples de los tratamientos con respecto al tiempo.

TABLAS DE ANOVA

Tabla 1. Análisis de varianza para densidad aparente – Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado	Razón-	Valor-
EFFECTOS					
A:Bloques	0,000671111	2	0,000335556	0,19	0,8283
B:CC	0,252911	14	0,0180651	10,21	0,0000
RESIDUOS	0,0495289	23	0,00176889		
TOTAL	0,303111	44			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura.

Tabla 2. Análisis de varianza para densidad real – Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado	Razón-	Valor-P
EFFECTOS					
A:BLOQUES	0,01092	2	0,00546	1,43	0,2449
B:CC	0,07643	14	0,00546236	1,43	0,1326
RESIDUOS	0,10323	23	0,00363357		
TOTAL	0,19063	44			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura.

Tabla 3. Análisis de varianza para la infiltración – Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado	Razón-	Valor-
EFFECTOS					
A:BLOQUES	4,34444	2	2,42222	1,50	0,2401
B:CC	92,5778	14	6,6127	4,10	0,0000
RESIDUOS	45,1556	23	1,6127		
TOTAL	142,578				

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura.

Tabla 4. Análisis de varianza para pH – Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado	Razón-	Valor-
EFFECTOS					
A:Bloques	0,000217778	2	0,000103339	0,23	0,7545
B:CC	0,214773	14	0,0153413	40,09	0,0000
RESIDUOS	0,0107156	23	0,000332693		
TOTAL	0,225711	44			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura.

Tabla 5. Análisis de varianza para pH – Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado	Razón-	Valor-
EFFECTOS					
A:Bloques	0,0164444	2	0,00322222	1,77	0,1392
B:CC	0,171111	14	0,0122222	2,63	0,0143
RESIDUOS	0,130222	23	0,00465079		
TOTAL	0,317773	44			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura.

Tabla 6. Análisis de varianza para C.E – Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado	Razón-	Valor-
EFFECTOS					
A:CC	0,0501244	14	0,00353032	2,31	0,0096
B:Bloques	0,00323444	2	0,00164222	1,29	0,2912
RESIDUOS	0,0356439	23	0,00127317		
TOTAL	0,0390573				

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura.

Tabla 7. Análisis de varianza para M.O – Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado	Razón-	Valor-
EFFECTOS					
A:Bloques	0,03503	2	0,01754	2,16	0,1347
B:CC	0,334737	14	0,0274343	3,33	0,0030
RESIDUOS	0,227353	23	0,00313762		
TOTAL	0,64772	44			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura.

Tabla 8. Análisis de varianza para CIC – Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado	Razón-	Valor-
EFFECTOS					
A:BLOQUES	37,4151	2	13,7075	2,43	0,1067
B:CC	97,309	14	6,93635	0,91	0,5625
RESIDUOS	215,392	23	7,71044		
TOTAL	351,116	44			

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura.

Tabla 9. Análisis de varianza para respiración basal– Suma de cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado	Razón-	Valor-P
EFFECTOS					
A:BLOQUES	5,91111E-8	2	2,95556E-3	1,26	0,2979
B:CC	8,52444E-7	14	6,03339E-3	2,61	0,0150
RESIDUOS	6,54222E-7	23	2,33651E-3		
TOTAL	0,00000156573				

Nota: Valores de -P inferiores a 0,005 presentan diferencias significativas.

- CC = Cultivos de Cobertura.

TABLAS DE RANGOS MÚLTIPLES

Tabla 10. Valores promedios obtenidos para la densidad aparente y rangos múltiples.

Da (gr*cm ⁻³)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	1,69 ^a ± 0,08	1,69 ^a ± 0,05	1,63 ^a ± 0,04	1,62 ^a ± 0,03	1,60 ^a ± 0,02
T1	1,69 ^a ± 0,06	1,61 ^a ± 0,04	1,51 ^a ± 0,03	1,52 ^b ± 0,01	1,49 ^b ± 0,03
T2	1,69 ^a ± 0,09	1,63 ^a ± 0,03	1,51 ^a ± 0,11	1,51 ^b ± 0,01	1,50 ^{ab} ± 0,05

Nota: No presenta diferencias significativas los resultados que presentan letras iguales en el superíndice.

Tabla 11. Valores promedios obtenidos para la densidad real y rangos múltiples.

Dr(gr*cm ⁻³)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	2,23 ^a ± 0,05	2,24 ^a ± 0,06	2,21 ^a ± 0,10	2,17 ^a ± 0,04	2,27 ^a ± 0,05
T1	2,25 ^a ± 0,10	2,18 ^a ± 0,01	2,31 ^a ± 0,12	2,30 ^b ± 0,06	2,21 ^a ± 0,05
T2	2,21 ^a ± 0,03	2,24 ^a ± 0,06	2,23 ^a ± 0,04	2,20 ^a ± 0,04	2,18 ^a ± 0,01

Nota: No presenta diferencias significativas los resultados que presentan letras iguales en el superíndice.

Tabla 12. Valores promedios obtenidos para la Infiltración y rangos múltiples.

Ib (mm*hr ⁻¹)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	10,0 ^a ± 2,82	10,0 ^a ± 1,00	10,0 ^a ± 2,00	10,7 ^a ± 1,15	10,7 ^a ± 1,15
T1	10,0 ^a ± 2,82	11,7 ^a ± 0,58	12,7 ^a ± 1,15	14,0 ^b ± 2,00	14,7 ^b ± 1,15
T2	10,0 ^a ± 2,82	11,0 ^a ± 1,00	12,0 ^a ± 2,00	11,3 ^a ± 1,15	12,0 ^{ab} ± 2,00

Nota: No presenta diferencias significativas los resultados que presentan letras iguales en el superíndice.

Tabla 13. Valores promedios obtenidos para estabilidad estructural de los agregados y rangos múltiples.

EA (mm)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	0,64 ^a ± 0,00	0,60 ^a ± 0,03	0,63 ^a ± 0,02	0,64 ^a ± 0,02	0,66 ^a ± 0,02
T1	0,64 ^a ± 0,00	0,65 ^a ± 0,02	0,64 ^a ± 0,02	0,73 ^b ± 0,02	0,79 ^{cd} ± 0,03
T2	0,64 ^a ± 0,00	0,63 ^a ± 0,01	0,64 ^a ± 0,01	0,77 ^{bc} ± 0,02	0,84 ^d ± 0,03

Nota: No presenta diferencias significativas los resultados que presentan letras iguales en el superíndice.

Tabla 14. Valores promedios obtenidos para pH y rangos múltiples.

pH					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	8,0 ^a ± 0,12	7,8 ^a ± 0,06	7,8 ^a ± 0,06	7,8 ^a ± 0,10	7,9 ^a ± 0,06
T1	7,9 ^a ± 0,10	7,9 ^{ab} ± 0,00	7,8 ^a ± 0,06	7,8 ^a ± 0,06	8,0 ^a ± 0,06
T2	7,9 ^a ± 0,00	7,9 ^b ± 0,06	7,9 ^a ± 0,06	7,8 ^a ± 0,10	7,9 ^a ± 0,06

Nota: No presenta diferencias significativas los resultados que presentan letras iguales en el superíndice.

Tabla 15. Valores promedios obtenidos para la conductividad eléctrica.

CE(ds*m ⁻¹)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	0,52 ^a ± 0,00	0,45 ^a ± 0,03	0,45 ^a ± 0,02	0,43 ^a ± 0,05	0,43 ^a ± 0,04
T1	0,52 ^a ± 0,00	0,44 ^a ± 0,03	0,46 ^a ± 0,03	0,43 ^a ± 0,02	0,42 ^a ± 0,07
T2	0,52 ^a ± 0,00	0,45 ^a ± 0,02	0,45 ^a ± 0,02	0,44 ^a ± 0,06	0,44 ^a ± 0,03

Nota: No presenta diferencias significativas los resultados que presentan letras iguales en el superíndice.

Tabla 16. Resultados promedios de materia orgánica y rangos múltiples

%M.O					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	0,64 ^a ± 0,11	0,58 ^a ± 0,08	0,64 ^a ± 0,01	0,63 ^a ± 0,04	0,64 ^a ± 0,03
T1	0,64 ^a ± 0,16	0,63 ^a ± 0,13	0,78 ^a ± 0,14	0,73 ^a ± 0,15	0,72 ^{ab} ± 0,15
T2	0,64 ^a ± 0,22	0,60 ^a ± 0,01	0,63 ^a ± 0,15	0,75 ^a ± 0,11	0,96 ^b ± 0,03

Nota: No presenta diferencias significativas los resultados que presentan letras iguales en el superíndice.

Tabla 17. Resultados promedios de CIC y rangos múltiples

CIC (meq/100 g)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	14,01 ^a ± 1,62	12,59 ^a ± 4,25	13,12 ^a ± 2,71	16,71 ^a ± 2,61	16,74 ^a ± 3,57
T1	14,01 ^a ± 1,62	13,70 ^a ± 1,10	13,97 ^a ± 2,11	16,20 ^a ± 1,43	16,90 ^a ± 2,35
T2	14,01 ^a ± 1,62	13,98 ^a ± 4,21	15,33 ^a ± 4,94	16,80 ^a ± 3,10	16,47 ^a ± 4,09

Nota: No presenta diferencias significativas los resultados que presentan letras iguales en el superíndice

Tabla 18. Resultados promedios de respiración basal del suelo

Respiración basal (gr CO ₂)					
Tratamiento	Mes 0	Mes 2	Mes 4	Mes 6	Mes 8
T0	0,0039 ^a ± 0,00	0,0037 ^a ± 0,00	0,0036 ^a ± 0,00	0,0036 ^a ± 0,00	0,0037 ^a ± 0,00
T1	0,0039 ^a ± 0,00	0,0038 ^a ± 0,00	0,0038 ^a ± 0,00	0,0035 ^a ± 0,00	0,0036 ^a ± 0,00
T2	0,0039 ^a ± 0,00	0,0037 ^a ± 0,00	0,0038 ^a ± 0,00	0,0035 ^a ± 0,00	0,0039 ^a ± 0,00

Nota: No presenta diferencias significativas los resultados que presentan letras iguales en el superíndice

Anexo 4. Tablas de puntuación de propiedades del suelo.

Densidad aparente.

Tabla 1. Clasificación y Puntuación para la Densidad aparente.

Valor	Apreciación	Rango de Calidad
<0,7	Bajo	9 a 10
0,7-0,8	Ideal	10
0,9-1,2	Alto	6 a 4
>1,2	Muy Alto	3 a 1

Fuente: Abi Saab (2012)

Porosidad

Tabla 2. Clasificación y Puntuación para la porosidad

Valor	Apreciación	Rango de Calidad
30-35	Muy bajo	1
35-40	Bajo	2 a 3
40-45	Medio	4 a 6
45-55	Alto (ideal)	9 a 7

Fuente: Abi Saab (2012)

Velocidad de Infiltración

Tabla 3. Clasificación y Puntuación para la velocidad de infiltración

Valor (cm/ hora)	Apreciación	Rango de Calidad
< 1,5	Muy Lenta	1 a 2
1,5 - 5,0	Lenta	2 a 6
5,0 - 15,5	Moderada	8 a 10
15,5 - 50,0	Rápida	8 a 6
> 50,0	Muy rápida	6 a 3

Fuente: Abi Saab (2012)

Estabilidad estructural del suelo

Tabla 4. Clasificación y Puntuación para la estabilidad de los agregados.

DMP (mm)	Apreciación	Puntuación
< 0,5	Inestable	0-2
0,5 - 1,5	Ligeramente estable	2,1-4
1,5 -3,0	Moderadamente estable	4,1-6
3,0 -5,0	Estable	6,1-8
> 5,0	Muy estable	8,1-10

Fuente: IGAC, 2006

pH

Tabla 5. Clasificación y Puntuación para pH

Valor	Apreciación	Rango de Calidad
< 4,5	Extremadamente ácido	1 a 2
4,6 - 5,5	Muy ácido	3 a 5
5,6 - 6,0	Ácido	6 a 9
6,1 - 7,3	Neutro (ideal)	10
7,4 - 7,8	Alcalino	6 a 9
7,9 - 8,4	Muy alcalino	3 a 5
>8,5	Extremadamente alcalino	1 a 2

Fuente: Abi Saab (2012)

Conductividad eléctrica

Tabla 6. Clasificación y Puntuación para la Conductividad eléctrica

Valor (dS/m)	Apreciación	Rango de Calidad
0 a 0,98	No salino	8,1-10
0,98 a 1,71	Muy ligeramente salino	6,1-8
1,71 a 3,16	Ligeramente salino	4,1-6
3,16 a 6,07	Moderadamente salino	2,1-4
> 6,07	Fuertemente salino	0-2

Fuente: USDA, 1999

Materia Orgánica

Se presenta una tabla en base al carbono orgánico, por consiguiente es necesario pasar los valores de materia orgánica a Carbono orgánico, asumiendo que la M.O contiene un 58% de C.O.

Tabla 7. Clasificación y Puntuación para Carbono orgánico

CLIMA CALIDO – Carbono Orgánico		
Valores	Apreciación	Rango
<0,20	Extremadamente bajo	1 a 2
0,20 – 0,50	Muy Bajo	3 a 4
0,51 – 1,70	Bajo	5 a 6
1,71 – 2,90	Aceptable	7 a 8
>2,90	Optimo	9 a10

Fuente: Abi Saab (2012)

Capacidad de intercambio catiónico

Tabla 8. Clasificación y Puntuación para la Capacidad de intercambio catiónico

Valor (meq/100 gr)	Apreciación	Rango de Calidad
<5	Muy bajo	1 a 2
5 a 10	Bajo	3 a 4
10 a 15	Moderado	5 a 6
15 a 20	alta	7 a 8
>20	Muy alta	9 a 10

Fuente: Abi Saab (2012)

Respiración basal del suelo.

De acuerdo con Abi Saab (2012) la única fuente de clasificación de la respiración basal del suelo es la guía del USDA (1999), por consiguiente es necesario realizar la conversión de unidades de mgCO_2/g de suelo/96h a $\text{kg C de CO}_2/\text{ton}$ de suelo por ha/24horas.

Siguiendo la metodología planteada por Abi Saab (2012) se debe obtener el peso de una ha de suelo, en donde se utilizó la densidad aparente de acuerdo a cada tratamiento y una profundidad de 20 cm puesto que se considera la zona más activa (Obando y Tobasura, 2011) y la utilizada para el muestro.

Además, para pasar de (mg de CO₂) a (Kg de C en CO₂) se usó la ecuación:

$$\frac{x \text{ mg } CO_2 * 1 \text{ g } C * 12 \text{ g } C * 1 \text{ Kg } C}{1000 \text{ mg } CO_2 * 44 \text{ g } CO_2 * 1000 \text{ g } CO_2} = x \text{ Kg } C$$

Una vez obtenido la conversión se multiplica por el peso de una ha de suelo y este resultado se divide en 0,000001Ton que representa el gr de laboratorio. Luego Abi Saab plantea dividir este resultado en 2 para pasar de 48 h a 24 h, sin embargo como en el presente trabajo se realizó la prueba a las 96 horas no se efectúa la división en 4, debido a que Castro y colaboradores., (2015) demuestra que para las 96 horas de respiración es el valor más bajo que se presenta.

Entonces se obtiene la tabla 9:

Tabla 9. Resultados obtenidos de la metodología planteada por Abi Saab (2012)

Tratamiento	T0	T1	T2
Ton suelo/ ha (1)	3209,05	2988,17	3004,80
mg CO ₂	3,73	3,62	3,89
Kg C-CO ₂ (2)	1,016E-06	9,86E-07	1,061E-06
1*2	0,003260	0,002946	0,003188
Kg C-CO ₂ /ha/24horas	3260,39	2946,33	3188,09

Tabla 10. Clasificación y Puntuación para la respiración basal del suelo.

Apreciación	Valores	Rango
Sin actividad del suelo	0	1
Muy baja actividad	<10,64	2 a 4
Actividad moderadamente baja	10,64-17,92	5 a 6
Mediana Actividad	17,92-35,84	7 a 8
Actividad ideal	35,84-71,68	9 a 10
Actividad inusual mente alta	>71,68	6 a 8

Fuente: Abi Saab (2012)