

Propiedades físicas del suelo bajo un cultivo en callejones en la fase de establecimiento

Physical properties of soil under alley cropping in the establishment phase

Jennyfer Cristina Guerrero J.¹, Anyi Valeria Andrade B.², Martín Alonso Muñoz R.³

Estudiante de pregrado, Ingeniería Agroforestal, Plan de Investigación para el Fortalecimiento Integral de las Comunidades. Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, jennyferguerrero08@udenar.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-6496-2749>

² Estudiante de pregrado, Ingeniería Agroforestal, Plan de Investigación para el Fortalecimiento Integral de las Comunidades. Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad de Nariño, Pasto, Colombia, anyiandrade951@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-7929-7075>

³ Docente Investigador- Grupo Pifil Universidad de Nariño, <https://orcid.org/0000-0003-3312-3608>, martinmunoz236@udenar.edu.co.

Resumen

El estudio se realizó, en Botana, Pasto, localizada a 77°18'58''O y 1°10'11,4''N. Las propiedades físicas del suelo evaluadas: densidad aparente (Da), densidad real (Dr), porosidad total (%P), distribución de agregados (DAG) y estabilidad estructural (EE) teniendo en cuenta el uso del suelo, en una fase inicial (antes de la implementación del cultivo) y la fase II (cosecha de *S. sonchifolius*). Se utilizó un diseño BCA, con tres tratamientos (*S. sonchifolius* sembrado a T1:1m, T2:0,8m y T3:0,5m) y tres repeticiones. *M. pubescens* establecido a 4 x 4m entre plántulas y a 9m entre líneas. La prueba de T entre las fases I y II encontró diferencias estadísticas significativas para EE y DAG, las cuales presentaron una variación positiva. El ANDEVA, entre los tratamientos en la fase II, indicó que no existen diferencias, sin embargo indican que éstas tienden a mejorar con el uso en el tiempo.

Palabras clave: densidad aparente, distribución de agregados, estabilidad estructural, Nariño.

Abstract

The study was conducted at the Botana, Pasto, located at 77°18'58"W and 1°10'11.4"N. The physical properties of the soil were evaluated: bulk density (D_a), real density (D_r), total porosity (% P), distribution of aggregates (DAG) and structural stability (SE) taking into account land use, in one phase initial (before the implementation of the crop) and phase II (harvest of *S. sonchifolius*). A BCA design was used, with three the treatments (*S. sonchifolius* to: T1: 1m, T2: 0.8m and T3: 0.5m) and three repetitions. *M. pubescens* was established at 4 x 4m between seedlings and 9m between lines. A T test was carried out between phases I and II, significant statistical differences were found for EE and DAG. The ANOVA, among the treatments in phase II, indicated that there are no significant differences, nevertheless indicate that these tend to improve with the use through the weather.

Key words: apparent density, distribution of aggregates, structural stability, Nariño.

Introducción

El componente suelo, es uno de los recursos más importantes y determinantes en las actividades agropecuarias, base para el desarrollo de las comunidades por cuanto suministra y dispone los alimentos y recursos para su aprovechamiento; en el departamento de Nariño, durante los últimos años sus áreas dedicadas a este tipo de actividades se han encontrado en proceso de degradación y disminución en su capacidad productiva (aproximadamente 2000 has anuales), reflejado en la baja productividad de las cosechas, conflictos ambientales y procesos erosivos, debido al manejo inadecuado del recurso y la baja oferta tecnológica en el territorio (Burbano, 2016).

Los suelos de Nariño, han sido afectados por la implementación y manejo de monocultivos, debido al desgaste requieren gran cantidad de agroinsumos; considerando esta problemática, la implementación de sistemas agroforestales que contribuyan al mantenimiento y/o mejoramiento de las características físicas del suelo es de gran importancia, frente a esta dificultad presente en la zona de altura en el departamento de Nariño, se ha centrado la atención en la búsqueda de alternativas de producción sostenible, que minimicen los impactos generados sobre este recurso, tal como lo ha evidenciado la aplicabilidad de la ciencia agroforestal, en muchas regiones del planeta; sin embargo, el conocimiento de las dinámicas e interacciones que se presentan en este tipo de sistemas para esta región, aun es escaso y no ha permitido generar estrategias acordes a las condiciones y necesidades locales y de sus pobladores, ocasionado bajos niveles de aceptabilidad y adopción de alternativas de producción en sus parcelas como es el caso de los arreglos de cultivo en callejones. (Alvarado *et al.*, 2011). En esta medida, el intercalamiento de árboles y cultivos en callejones se constituye en una práctica de gran potencial donde los árboles o arbustos (generalmente fijadores de nitrógeno) se pueden considerar como un material mejorador de los suelos y los cultivos (Mendieta y Rocha, 2007); en este tipo de arreglos, *M. pubescens* es una especie arbórea que se adecua a los arreglos agroforestales del trópico de altura, por su adaptabilidad, tolerancia a factores poco favorables y a su capacidad de aportar nitrógeno a través de la simbiosis de sus raíces con el actinomiceto del género *Frankia* (Molina y Narváez, 2000). Así mismo, el *S. sonchifolius*, se está implementando en los sistemas agroforestales debido a que tolera cortes de follaje y reacciona con rebrotes, aparentemente poco exigente en manejo

agronómico y de fertilizantes, y compite exitosamente con arvenses invasoras. (Nieto, 2004), además Rojas y Parra (2018), implementaron árboles nativos para evitar los vientos fuertes, ya que el tallo de *S. sonchifolius* es muy frágil y susceptible a sufrir volcamiento, asimismo suministran sombra que favorece el crecimiento y aportan biomasa al cultivo.

Además, el conocimiento y uso apropiado de raíces andinas como *S. sonchifolius* son importantes para la seguridad alimentaria y para la sostenibilidad del frágil ecosistema montañoso Andino y de la milenaria y variada actividad agrícola y cultural que alberga. (Pastor, 2004). Por otra parte, esta especie fue domesticada hace varios siglos por los pobladores de las culturas preincaicas, que hace poco tiempo se cultivaba solo en los jardines y huertos caseros para el autoconsumo, sin embargo, debido a que recientemente se han empezado a descubrir y difundir algunas propiedades promisorias, se ha generado en la población un creciente interés por este cultivo (Seminario *et al.*, 2003).

En el aspecto económico, los productores pueden ajustar el modelo productivo a sus necesidades y condiciones locales que permitan su viabilidad económica y posterior implementación. Específicamente, en el contexto latinoamericano, existe un futuro promisorio para las plantas medicinales del altiplano andino como el *S. sonchifolius*, con posibilidades inmediatas y a mediano plazo para comercialización en varios mercados (Bejar, 2007), sin embargo, el país no posee una producción a gran escala de este tubérculo, y su bajo conocimiento en el mercado ha sido consecuencia de la deficiente investigación y desarrollo del mismo (Calderón *et al.*, 2017)

De acuerdo con lo anterior, es importante estudiar las propiedades físicas del suelo, porque éstas, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos que el hombre realiza; se considera necesario, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas (Rucks *et al.*, 2004).

En investigaciones anteriores, se han obtenido resultados preliminares en el comportamiento de *S. sonchifolius* asociado a otras especies arbóreas como la acacia y el aliso, en los cuales no se encontraron diferencias significativas, lo que indica que el rendimiento de *S. sonchifolius* no fue afectado por el asocio (Seminario *et al.* 2003).

Por lo tanto en la presente investigación se evaluó las propiedades físicas del suelo como densidad aparente, densidad real, porosidad total, distribución de agregados y estabilidad estructural en un arreglo de cultivo en callejones de *M. pubescens* en asocio con *S. sonchifolius*, en la Granja Experimental Botana, antes del establecimiento y al finalizar un ciclo productivo de *S. sonchifolius*. Además, se estableció el efecto de las distancias de siembra del cultivo con respecto a las propiedades mencionadas anteriormente.

Materiales y Métodos

Localización. La investigación se realizó en la Granja Experimental de la Universidad de Nariño, ubicada en la vereda Botana, municipio de Pasto localizada al occidente del Meridiano de Greenwich a 77° 18' 58''O y 1° 10' 11.4''N, a una altitud de 2820 msnm temperatura promedio de 12°C, precipitación media anual de 800 a 1000 mm, humedad relativa 70 a 80% con 900 horas sol promedio año (IDEAM, 2010). Según Holdridge, pertenece a la zona de vida bosque húmedo montano bajo (bh – MB). Taxonómicamente este suelo se clasifica como Acrudoxic Fulvudands, corresponde a una topografía ondulada.

Diseño experimental. Se estableció un diseño de bloques completos al azar, con tres tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos corresponden a densidades de siembra, el tratamiento uno (T1) yacón sembrado a 1 metro entre plantas, tratamiento dos (T2), yacón sembrado a 0,80 m entre plantas y el tratamiento tres (T3) yacón sembrado a 0,50 m entre plantas. El componente arbóreo se estableció a 4 x 4 m entre plántulas y a 9 metros entre líneas. Con incorporación de abono orgánico un mes antes de la siembra de las plántulas de laurel.

Material vegetal. El material vegetal de *S. sonchifolius* se adquirió a productores articulados a la Red de Guardianes de las Semillas, en Nariño.

Las plántulas de *M. pubescens* fueron adquiridas en viveros de la zona con una altura promedio inicial de 15 cm.

Muestreo de suelos. Según la metodología de Chaves y Delgado (2015), para el análisis físico del suelo, se ubicaron sitios al azar en forma de zigzag en el área de muestreo, donde se removió la capa superficial del suelo. Con ayuda de una pala, se extrajo las seis

submuestras por cada tratamiento, estas se homogenizaron en un recipiente plástico libre de impurezas y luego se tomó una muestra representativa de 1 kg que se colocó en una bolsa plástica autosellable y posteriormente se etiquetaron las muestras por cada tratamiento. (Tabla 1)

Tabla 1. Metodología utilizada para la evaluación de propiedades físicas.

Parámetro	Método	Referencias
Textura	Textura Bouyoucos	Bouyoucos (1936)
Densidad real (g/cm ³).	Picnómetro	Unigarro & Carreño (2005)
Densidad aparente (g/cm ³).	Cilindro del volumen conocido	IGAC (1990)
Porosidad total	Calculado a partir de D_a y D_r	IGAC (1990)
Distribución del tamaño de agregados (seco)	Shacker	IGAC (2006)
Estabilidad estructural (húmedo)	Método de Yoder	Yoder (1936)

Se realizaron dos muestreos, el primero en la fase I (antes de la implementación del cultivo) y el segundo muestreo en la fase II (cosecha de *S. sonchifolius*). Las muestras se llevaron al Laboratorio de Física de Suelos de la Universidad de Nariño, donde se realizó la evaluación de algunas de las propiedades físicas como: densidad aparente (D_a), densidad real (D_r), porosidad total (%P), estabilidad estructural (EE) y distribución de agregados (DAG).

Análisis estadístico. Se realizó el análisis estadístico para determinar diferencias significativas en las propiedades físicas del suelo, mediante una prueba de Tukey, para hacer comparaciones entre la fase I (antes de la siembra del cultivo) y la fase II (cosecha de *S. sonchifolius*).

Para evaluar las diferencias estadísticas entre los tratamientos en la fase II, se realizó un análisis de varianza.

Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Infostat Statistical Package (Di Rienzo *et al.*, 2010) y el programa Excel.

Resultados y Discusión

Densidad aparente, densidad real y porosidad total antes y después del establecimiento del arreglo cultivo en callejones de *M. pubescens* y *S. sonchifolius*. Los resultados de la prueba de T (Tabla 2.) indican que no hay diferencias estadísticas significativas para las variables Da, Dr y %P (Figura 2), entre la fase I (antes de la siembra del cultivo) y la fase II (cosecha de *S. sonchifolius*).

Tabla 1. Resultados de la prueba de T para algunas propiedades físicas del arreglo cultivo en callejones de *M. pubescens* y *S. sonchifolius*, en Botana, municipio de Pasto.

Variable	Fase I	Fase II	T calculado	T tabulado	D.E
Da	0,92a	0,99a	1,21	4,30	
Dr	2,36a	2,44a	0,91	3,18	
%P.	60,41a	59,09a	0,43	4,30	
E.E	0,97a	2,52b	29,41	4,30	0,85
DAG	3,05a	3,9b	3,42	3,18	0,54

D.E: desviación estándar

Letras iguales significan que no se encontraron diferencias significativas.

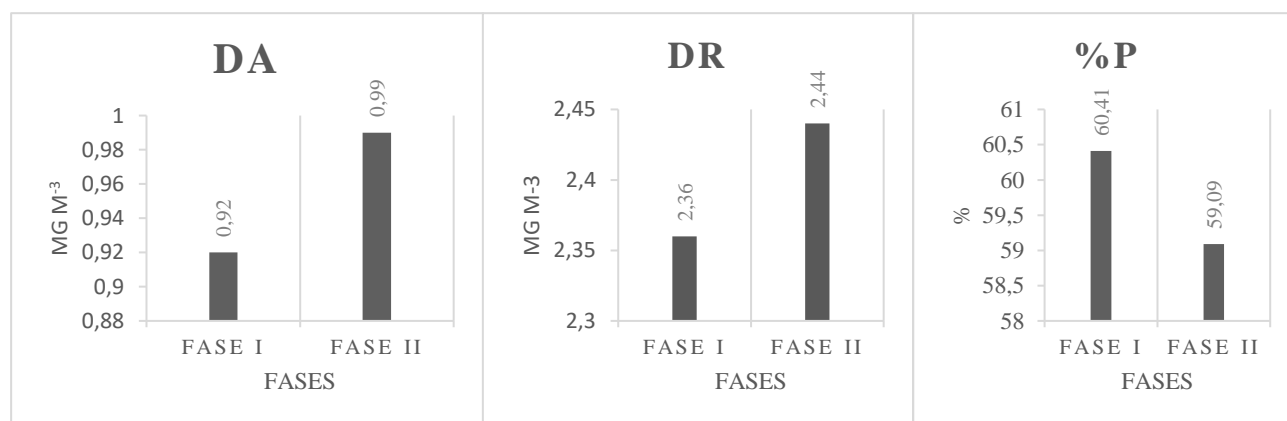


Figura 1. Resultados prueba de Tukey (Tukey, $p < 0.05$) de las propiedades físicas del arreglo cultivo en callejones de *M. pubescens* y *S. sonchifolius* en la fase I y II.

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Gaviria & Herrera (2013), en el estudio de las propiedades físicas del suelo en un arreglo agroforestal laurel de cera (*M. pubescens*), establecido a 4 x 4m, con chocho (*Lupinus mutabilis*) en el municipio de Pasto, en 3 diferentes arreglos agroforestales; (arreglo 1: *M. pubescens*, arreglo 2: *M. pubescens* x *L. mutabilis* 0,15 x 0,20m y arreglo 3 *M. pubescens* x *L. mutabilis* 0,30 x 0,60m); en el cual no evidenciaron diferencias significativas para los efectos simples arreglo y distancia, ni para la interacción arreglo por distancia en las mismas variables evaluadas.

Ramírez y Vélez (2002), mencionan que las propiedades físicas del suelo no son afectadas, debido a que los cambios dependen más del origen del suelo, su evolución y los contenidos de materia orgánica, con lo cual habría una posibilidad de cambios en un periodo de evaluación más largo que el contemplado en esta investigación, ya que la densidad real y aparente, y por consiguiente la porosidad total, son propiedades del suelo muy estables, por tanto, el tiempo de uso no las modifica.

Igualmente Novillo *et al.* (2017) en un estudio para evaluar la propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador, donde evaluaron cinco sistemas de uso de suelo, bosque primario (guayacán, *Tabebuia chrysantha* Jacq; guarumo, *Cecropia peltata*; heliconias, *Heliconia* sp.; ortiga, *Urtica dioica*; pachaco, *Schizolobium parahybum*; maíz, *Zea mays* L.; cacao, *Theobroma cacao* L.; pasto guinea, *Panicum maximum* Jacq. y palma aceitera *Elaeis guineensis* Jacq). En cada sistema se colectaron seis muestras para las variables D_r y %P, las cuales no presentaron diferencias estadísticas significativas entre coberturas de suelo y profundidad, indicativo de que estas variables no son adecuadas para determinar los efectos de estos sistemas sobre el suelo, debido a que estas variables son estables, asimismo encontraron que la densidad aparente tiende a aumentar según el tipo de uso, de lo que se puede inferir que las propiedades físicas del suelo cambian de acuerdo a diferentes usos de suelo y que no se ven afectadas en periodos cortos de tiempo, sino que estas tardan muchos años en ser modificadas por acción del hombre y de la naturaleza.

Sin embargo, la porosidad total mostró cierta tendencia a disminuir (60,41 a 59,09%), aunque los datos no fueron significativos, el descenso de esta propiedad se relaciona con el leve aumento de la densidad aparente que se obtuvo entre las fases I y II del sistema, la cual

cambió de 0,92 a 0,99 Mg m⁻³, respectivamente; con estudios previos a estos parámetros reportados por el IGAC (1986), los suelos de Nariño se caracterizan por tener densidades menores de 1 Mg m⁻³, por lo tanto, éstos resultados son coincidentes, además, Volverás *et al.* (2016) encontraron que la densidad aparente tiende a aumentar con el tipo de uso del suelo y con la profundidad, en un tiempo de 45 años de estudio, manifiestan que los cambios en la densidad aparente, tuvieron un efecto acumulativo que hace que las partículas removidas y sueltas se reacomoden y ocupen el espacio que correspondía al agua y al aire, por lo tanto, teniendo en cuenta que los suelos de la granja Botana han sido subutilizados, se comprueba el aumento de esta propiedad, provocando la tendencia a compactarse, afectando la capacidad de retención de humedad y limitando a su vez el normal desarrollo radicular de las plantas, que no se hace evidente para este periodo de evaluación. Por otra parte, Leyva *et al.* (2018), reportan menores valores de densidad aparente del suelo en los sistemas agroforestales con respecto a pastizales, afirmando que el componente arbóreo mejora dicha propiedad, lo confirma que el uso del suelo, la vegetación y el tipo de suelo son factores que se encuentran interrelacionados y determinan las propiedades físicas y químicas de los suelos (Gaspar & Navas, 2013).

Distribución de los agregados (granulometría) antes y después del establecimiento del arreglo cultivo en callejones de *M. pubescens* y *S. sonchifolius*. De acuerdo a la caracterización de la estructura del suelo, según la prueba de Tukey, se encontró diferencias estadísticas significativas entre la fase I donde se encontró que el 60% de los agregados son >0,5 mm, diferenciándose estadísticamente de la fase de establecimiento de *S. sonchifolius*, con un 70,3% de agregados >0,5 mm, que según la clasificación del estado de agregación del IGAC (2006), (Tabla 3), estos suelos poseen un estado de agregación media, Whalen & Chang (2002), afirman que la causa de la mayor proporción del suelo se concentre en los macroagregados, se debe a un incremento en la materia orgánica del suelo; mencionan que la adición de materia orgánica incrementa la macroagregación lo que favorece la estabilidad y la agregación del suelo, también Gaviria & Herrera (2013), se refieren a los agregados de tamaño promedio menor a 0,5 mm, los cuales bloquearían los poros más gruesos, dificultando la penetración del aire en el suelo, algo semejante afirma Martínez *et al.* (2008), los cuales manifiestan que la modificación de la estructura y la distribución del espacio poroso se debe al carbono orgánico del suelo, el cual, tiene una relación del tamaño de los

agregados y el contenido de carbono orgánico del suelo, por consiguiente, a mayor contenido de carbono orgánico del suelo mayor es el tamaño de los agregados.

Tabla 2. Clasificación del estado de agregación.

Porcentaje de agregados > 0.5	Estado de agregación (ea)	Clase
> 90	Muy alta	1
90 - 80	Alta	2
80 - 35	Media	3
35 - 25	Baja	4
<25	Muy baja	5

Fuente: IGAC, 2006

En esta investigación la distribución de los agregados fue más alta en la fase II (Figura 3), la cual pudo haber mejorado por la penetración de las raíces de *S. sonchifolius*; a pesar que el sistema lleva muy poco tiempo establecido, se puede inferir que la descomposición sucesiva de la biomasa microbiana, atraída posiblemente por los exudados que produce el componente agrícola mejora la distribución de los agregados del suelo, confirmando con lo reportado por el USDA (1999) quienes afirman que al aumentar la proporción de macro sobre microagregados aumenta la calidad del suelo.

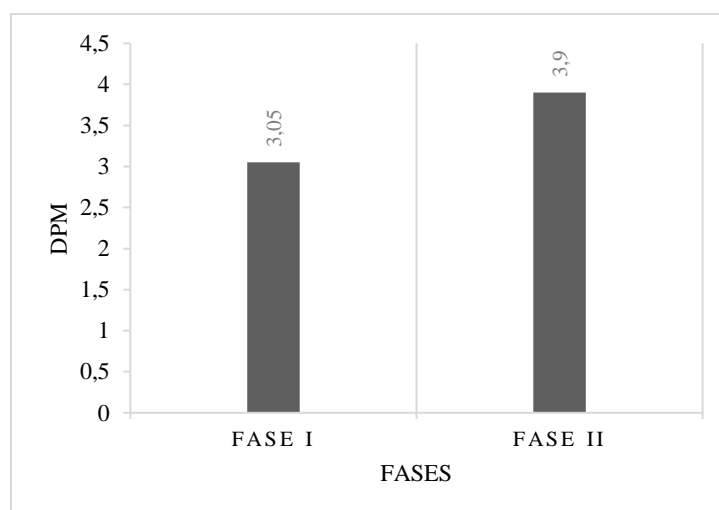


Figura 1. Distribución de los agregados DAG (granulometría) antes y después del establecimiento del arreglo cultivo en callejones de *M. pubescens* y *S. sonchifolius*.

Estabilidad estructural antes y después del establecimiento del arreglo cultivo en callejones de *M. pubescens* y *S. sonchifolius*. Los resultados muestran que el suelo sufrió un cambio en la estabilidad estructural entre las dos fases del uso del suelo, siendo mayor en la fase II. Se encontró que el suelo fluctuó entre ligeramente estable (0,97 D.P.M) a moderadamente estable (2,53 D.P.M) (Figura 4), según la clasificación del IGAC (2006), (Tabla 4), esto posiblemente se debe a la resistencia al deterioro y a la erosión que ofrece la intensidad, el tipo de uso y el manejo agronómico del suelo (Buenaver y Rodríguez, 2016). Para esta investigación el empleo de material vegetal de *S. sonchifolius* fue determinante en el arreglo de la fase sólida del suelo, ya que la distribución de sus agregados y del espacio poroso hace posible la preservación de esta propiedad; así mismo la materia orgánica y la cobertura aportada por este, disminuyen el impacto agroclimático presente, impidiendo que los suelos estén en constante humedecimiento y secado, lo que genera rompimiento de los agregados, tanto en la superficie causando el encostramiento y dentro del suelo provocando compactación (FAO, 2003; Lal y Shukla, 2004).

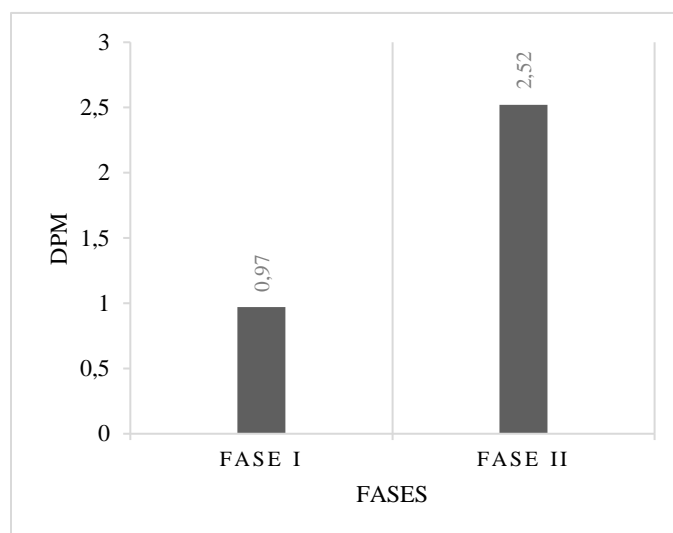


Figura 2. Estabilidad Estructural antes y después del establecimiento del arreglo cultivo en callejones de *M. pubescens* y *S. sonchifolius*

Tabla 3. Clasificación diámetro ponderado medio.

DPM (mm)	Estabilidad estructural
< 0,5	Inestable
0,5 - 1,5	Ligeramente Estable
1,5 - 3,0	Moderadamente Estable
3,0 - 5,0	Estable
>5,0	Muy Estable

Fuente: IGAC, 2006.

Estos resultados concuerdan con los de Gaviria & Herrera (2013), quienes encontraron diferencias significativas para agregados en húmedo, en un sistema agroforestal de laurel de cera (*M. pubescens* H.B.K) asociado choco (*L. mutabilis* L.) en el municipio de Pasto, lo que demuestra que existe una mayor protección del suelo contra las gotas de lluvia.

En un estudio realizado por Castillo *et al.* (2008), en el cual se evaluó la estabilidad estructural mediante la prueba de turbidimetría, empleando los siguientes tratamientos: T1: parcelas descubiertas (referencia); T2: rotación de cultivo + abono orgánico (labranza); rotación a partir de pradera mejorada (labranza mínima + abono químico); T4: rotación convencional (labranza + abono químico); T5: rotación de cultivos + leguminosas (labranza + abono químico); T6: rotación a partir de pradera mejorada (labranza + abono químico), se concluyó que el estado de agregación más bajo fue en la parcela descubierta (T1) y en la rotación de cultivos más labranza mínima (T3), indicando que en estos suelos que poseen agregados más finos se dispersan porque absorben más la energía de las gotas de lluvia, mientras que los agregados más gruesos son más coherentes y ofrecen una mayor resistencia a la separabilidad por agentes dispersantes como el agua, que es similar a lo encontrado en esta investigación, en la cual los agregados del suelo mejoraron cuando se implementó el arreglo agroforestal.

Comparación de propiedades físicas del suelo entre tratamientos de la fase II uso del suelo bajo arreglo cultivo en callejones. Según el análisis de varianza (Tabla 5), realizado a los tratamientos en la fase II, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 5), para cada una de la variables evaluadas (densidad aparente, densidad

real, porosidad total, estabilidad y distribución de los agregados), estos resultados concuerdan con los encontrados por Ramírez y Vélez (2002), en la evaluación de un arreglo agroforestal de *M. pubescens* H.B.K con *S. tuberosum* L. y *A. sativum* L., los cuales no encontraron diferencias significativas entre tratamientos (T1 LC// monocultivo, T2 LC//papa y T3 LC//ajo), sin embargo, encontraron una tendencia a mejorar las propiedades físicas del suelo, estos resultados concuerdan con los encontrados en esta investigación, donde las propiedades físicas puede mejorar las condiciones del suelo por la interacción de las raíces de *S. sonchifolius*, ya que la planta posee dos tipos de raíces, unas fibrosas que son las encargadas de la fijación de la planta al suelo y la absorción de agua y nutrientes y las raíces reservantes las cuales son grandes y engrosadas (Seminario *et al.*, 2003), quienes pueden interferir en el mejoramiento de las mismas; el efecto de las raíces puede mejorar la agregación del suelo a largo plazo, mediante procesos como, penetración de raíces, modificación del régimen hídrico, producción de exudados, entrelazamiento de agregados causados por las raíces y descomposición de raíces muertas (Angers y Caron, 1998; Six *et al.*, 2004; Bronick y Lal, 2005).

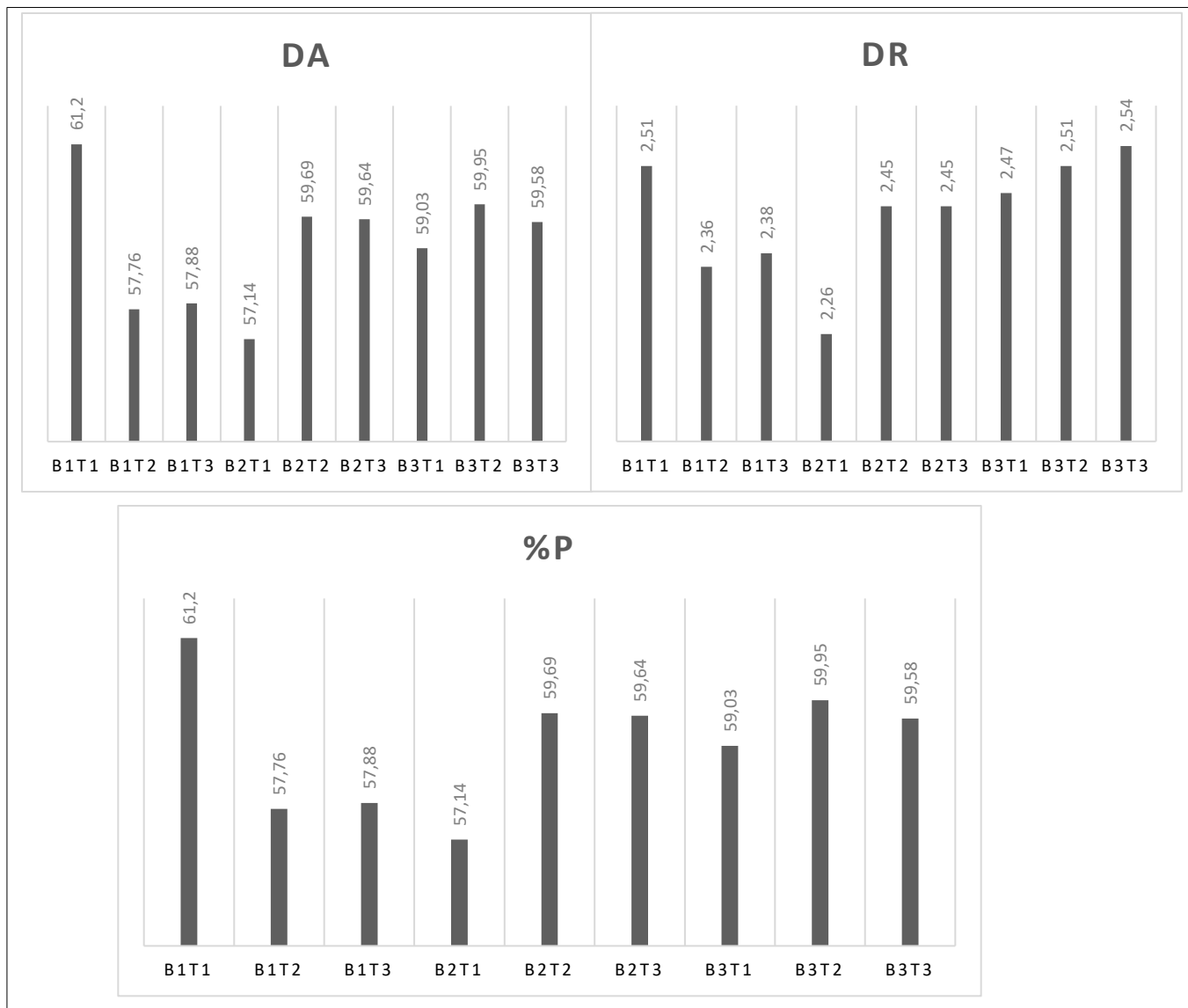


Figura 4. Resultados Análisis de varianza de las propiedades físicas Da, Dr y %P del arreglo cultivo en callejones de *M. pubescens* y *S. sonchifolius* en la fase II (primera cosecha del componente agrícola).

Tabla 4. Análisis de varianza de algunas propiedades físicas del suelo entre los tratamientos de la fase II del arreglo de cultivo en callejones.

F.V	G.L	C.M				
		Da	Dr	%P	E.E	DAG
Modelo	4	6,8 E-04	0,01	0,21	0,01	0,59
Bloque	2	9,3 E-04	0,01	0,41	5,8 E-04	0,41
Tratamiento	2	4,3 E-04	1,4 E-03	0,001	0,02	0,46
Error	4	6,7 E-05	0,01	3,07	0,07	0,29
Total	8					

F.V: Fuente de variación; G.L: Grados de libertad; C.M: cuadrado medio.

La distribución de agregados y la estabilidad estructural, mostraron una tendencia a mejorar entre los tratamientos en la fase II (Figura 7).

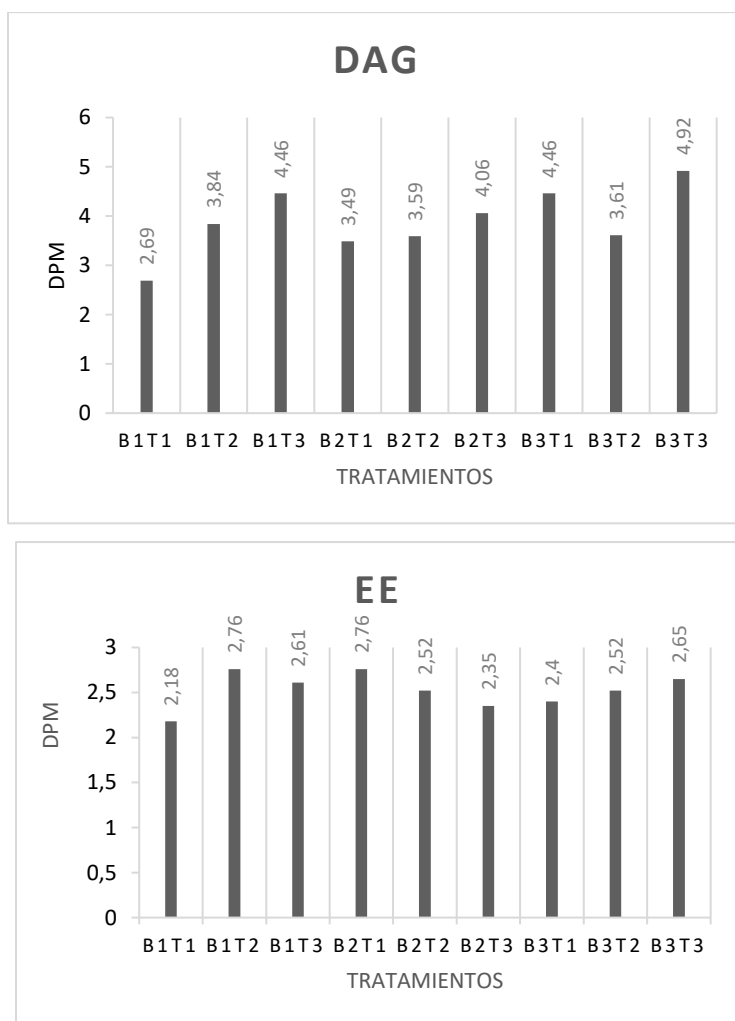


Figura 5. Resultados análisis de varianza de las propiedades físicas DAG y EE del arreglo cultivo en callejones de *M. pubescens* y *S. sonchifolius* en la fase II.

Benavides *et al.* (2015), encontraron diferencias altamente significativas para tres tipos de uso T1 (Pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov) y grama dulce (*Paspalum distichu* L.)), T2 (Árboles dispersos en potreros, de quillotocto (*Tecoma stans* Griseb.), arrayan (*Myrcianthes leucoxyla* (Ortega) McVaugh) y pichuelo (*Senna pistacifolia* (Kunth) H.S. Irwin & Barneby)) y T3 (Bosque con árboles de encino (*Weinmannia tomentosa* L. f.), campanillo (*Delostoma integrifolium* D. Don) y cucharo (*Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze)), para las propiedades densidad aparente (Da), densidad real (Dr), porosidad total (Pt), distribución de agregados del suelo en seco (DMP), medición de agregados estables en agua (DMP), con lo que se puede deducir que estas propiedades cambian de acuerdo a los diferentes usos del suelo.

Conclusiones

Las propiedades físicas del suelo en la etapa de establecimiento del arreglo de cultivo en callejones *M. pubescens* con *S. sonchifolius*, presentaron diferencias para las variables estabilidad estructural y distribución de agregados, que pueden evitar a largo plazo, problemas erosivos y de compactación y brindando condiciones favorables para el desarrollo de las plantas.

No hubo efecto entre las distancias de siembra y las propiedades físicas del suelo en la fase II del cultivo, sin embargo, los valores indican que estas propiedades tienden a mejorar a través del tiempo constituyéndose como una línea base para continuar la evaluación del sistema a largo plazo donde el *M. pubescens* ejerza efectos sobre los demás componentes.

Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigaciones y Posgrados VIPRI de la Universidad de Nariño por la financiación del presente trabajo. A Jorge Alberto Vélez y William Ballesteros, por el apoyo brindado para el procesamiento estadístico de los resultados. Al grupo de investigación Plan de Investigación y Fortalecimiento Integral de las Comunidades- PIFIL, Universidad de Nariño.

Referencias Bibliográficas

- Alvarado, K., López, V. & Castillo, J. (2011). Pérdida de suelo por erosión hídrica en diferentes sistemas de producción con papa *Solanum tuberosum* L. *Revista Facultad de Ciencias Agrícolas*. 28(1): 64-72.
- Angers, D. & Caron, J. (1998). Plant-induced changes in soilstructure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry*, 42, 55-72. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1005944025343>.
- Benavides, E., Morales, L. & Navia, J. (2015). Propiedades físicas y contenido de materia orgánica en diferentes usos del suelo en Samaniego, Colombia. *Revista Agroforestería Neotropical*, 5(1): 27-41.
- Bouyoucos, G.S. (1936). Directions for making mechanical analysis of soil by hydrometer method. *Soil Science*. 4: 225-228. doi:10.1097/00010694-193609000-00007
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista Ciencias Agrícolas*. 33 (2): 117-124. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>.
- Buenaer, M. & Rodríguez, E. (2016). Determinación de la estabilidad de agregados del suelo en diferentes agroecosistemas del Departamento de Norte de Santander. *Suelos ecuatoriales, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*. 46(1 y 2): 42-50.
- Bronick, C. & Lal, R. (2005). Soil structure and management: areview. *Geoderma*. 124 (1 y 2) 3-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
- Calderón, C., Fandiño, D. & Chávez, T. (2017). El Yacón: una alternativa para el sector agrícola colombiano. (Trabajo de grado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. 77 p.
- Castillo, J., Navia, J. & Menjivar, F. (2008). Estimación de la estabilidad estructural de dos suelos al sur de Colombia con diferentes tipos de manejo. *Acta agronómica*, 57(1): 31-34.

- Chaves, G. & Delgado, J. (2015). *Manual De Prácticas De Laboratorio Suelos Generales*. Pasto: Editorial Universitaria- Universidad de Nariño. 173 p.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. & Robledo, C. (2010). Infostat versión. Grupo Infostat. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2003). Optimizing soil moisture for plant production; the significance of soil porosity. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-y4690e.pdf>
- Gaspar, L. & Navas, A. (2013). Vertical and lateral distributions of ^{137}Cs in cultivated and uncultivated soils on Mediterranean hillslopes. *Journal Geoderma*. 207-208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.034>
- Gaviria, N. & Herrera, E. (2013). Propiedades físicas del Suelo en el Arreglo Agroforestal Laurel de Cera *Morella pubescens* H.B.K con Choco *Lupinus mutabilis* L. en el Municipio de Pasto. (Tesis de grado, Ingeniería Agroforestal) Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. 28 p.
- IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). *Métodos Analíticos de Laboratorios de Suelos*. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia. 674 p.
- IGAC- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1990 a). *Métodos Analíticos de Laboratorio de Suelos*. Bogotá: IGAC. 502 p.
- IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1986 b). *Estudio general de suelos del Nororiente del Departamento de Nariño*. Bogotá: IGAC. 558 p
- IDEAM-Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales. (2010). Reporte técnico estación meteorológica Botana, Pasto, Nariño: IDEAM, 1p.
- Lal, R. & Shukla, M. (2004). *Principles of Soil Physics*. Marcel Dekker, New York. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.2005.0756c.x>.

- Leyva, S., Baldoquin, A. & Reyes, M. (2018). Propiedades de los suelos en diferentes usos agropecuarios, Las Tunas, Cuba. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 35(1): 36-47. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.81>.
- Martínez, E., Fuentes, J. & Acevedo, E. (2008). CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1): 68-96. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Mendieta, M. & Rocha, R. (2007). *Sistemas Agroforestales*. Nicaragua, Managua: Editorial Universidad Nacional Agraria. 67 p.
- Molina, A. & Narváez, W. (2000). Sistema agroforestal laurel de cera *Myrica pubescens* intercalado con cultivos transitorios en el municipio de Pasto. Pasto, Colombia. (Trabajo de grado, Ingeniería Agroforestal). Universidad de Nariño, Pasto, Nariño. 68 p.
- Nieto, C. (2004). *Sistemas agroforestales aplicables en la Sierra ecuatoriana. Resultados de una década de experiencias de campo*. Quito Ecuador: Editorial Nueva Jerusalén. 122- 195 p.
- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Moreira, V., Albán, K. & Morales, F. (2017). Propiedades Físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Revista Temas Agrarios*. 23(2): 177-187.
- Pastor, S. (2004). Manejo de la Biotecnología Apropriada para Pequeños Productores: Estudio de Caso - Perú. *REDBIO/FAO*. 62p
- Ramírez, A. & Vélez, J. (2002). Evaluación preliminar del arreglo agroforestal en líneas de Laurel de cera *Myrica pubescens* con Papa *Solanum tuberosum* y Ajo *Allium sativum* en la vereda Botana. (Trabajo de grado, Ingeniería Agroforestal). Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. 17 p.
- Rojas, W. & Parra, J. (2018). Implementación de un modelo de cultivo de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) para el aprovechamiento medicinal y alimenticio-vereda Julumito, municipio de Popayán, departamento del Cauca. (Trabajo de grado, Profesional en

- agronomía). Universidad Nacional abierta y a Distancia (UNAD), Popayán, Colombia. 106 p.
- Rucks, L. (2004). *Propiedades físicas del Suelo*. Universidad de la Republica. Departamento de Suelos. Montevideo, Uruguay. 68 p.
- Sáenz, S. (2012). *El yacón, planta promisorio para Colombia*. Bogotá: Editorial Universidad de La Salle. 77 p.
- Seminario, J., Valderrama, M. & Manrique, I. (2003). *El yacón: Fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio*. Lima: Centro Internacional de la papa (CIP). 60 p.
- Six, J., Bossuyt, S. & K., Deneff. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79(1): 7-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>
- Unigarro, A. & Carreño, M. (2005). *Métodos químicos y físicos para el análisis de suelos*. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño. 72 p
- USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (1999). *Guía para la evaluación de la salud y calidad del suelo*. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- Volverás, B., Amézquita, E. & Campo, J. (2016). Indicadores de calidad física del suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño, Colombia. Pasto: *Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria*. 17(3):361-377. doi: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:513.
- Whalen, J. & Chang, C. (2002). Macroaggregate Characteristics in soils after 25 annual manure applications. *Soil Science Society of America*. 66: 1617- 1647. doi: 10.2136/sssaj2002.1637
- Yoder, R. (1936). A direct method of aggregate analysis of soil and study of physical nature of erosion losses. *J. Am Soc. Agron*. 28(5): 337-351.