

**EVALUACIÓN INICIAL DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN EL
ARREGLO AGROFORESTAL ALISO (*Alnus jorullensis* H.B.K.) - PAPA (*Solanum
tuberosum* L.)**

**ANA CRISTINA JOJOA J
XIMENA KATHERINE INSUASTY**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO**

2014

**EVALUACIÓN INICIAL DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN EL
ARREGLO AGROFORESTAL ALISO (*Alnus jorullensis* H.B.K.) - PAPA (*Solanum
tuberosum* L.)**

**ANA CRISTINA JOJOA J
XIMENA KATHERINE INSUASTY**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera
Agroforestal**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO**

2014

“las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1 del acuerdo 324 de Octubre 11 de 1966, emanado en el honorable consejo directivo de la Universidad de Nariño

Nota de aceptación

Presidente

Copresidente

Jurado Delegado

Jurado

San Juan de Pasto, Agosto de 2014

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
CONCLUSIONES.....	28
BIBLIOGRAFÍA	29

**EVALUACIÓN INICIAL DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO EN EL
ARREGLO AGROFORESTAL ALISO (*Alnus jorullensis* H.B.K.) - PAPA (*Solanum
tuberosum* L.)**

**INITIAL EVALUATION OF SOIL PHYSICAL PROPERTIES UNDER
AGROFORESTRY IN ALISO (*Alnus jorullensis* H.B.K.) - POTATO (*Solanum
tuberosum* L.)**

Ana Cristina Jojoa J.¹

Ximena Katherine Insuasty²

Miriam del Rosario Guapucal C.³

RESUMEN

El estudio se realizó en la vereda Concepción, municipio de Pasto, departamento de Nariño, a una altura de 3050 m.s.n.m., temperatura promedio de 12°C, con el fin de determinar algunas propiedades físicas del suelo en un arreglo agroforestal, aliso (*Alnus jorullensis* H.B.K.) y papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo un diseño de bloques completos al azar en parcelas divididas, donde la parcela principal correspondió a tratamientos de fertilización orgánica con Lombricompost y Fogafos, y las subparcelas a distancias del árbol con respecto al cultivo (0.5m y 1m), con un total de 4 tratamientos y 3 repeticiones para un total de 12 unidades experimentales. Se realizaron tres mediciones, la primera antes del establecimiento del arreglo agroforestal (bloque 1), la segunda tres meses después (bloque 2), y la tercera a los 6 meses (bloque 3). Se realizó análisis de varianza y prueba de comparaciones de medias de Tukey. Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) para las variables densidad aparente y estabilidad estructural; la densidad aparente fue de 0,64 g/cm³ en el bloque tres y la estabilidad de agregados presentó diferencias significativas entre bloques para agregados de 2 mm, 0.85 mm, 0.5 mm y 0.25 mm con

¹ Estudiante de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño; E – mail: ana.j2@hotmail.com

² Estudiante de Ingeniería Agroforestal. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño; E – mail: ktyk1717@hotmail.com

³ I. AF., M. Sc., Docente hora cátedra. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Departamento de Recursos Naturales y Sistemas Agroforestales, 2014. E – mail: mguapucalc@hotmail.com

valores de 26.31%, 11.59%, 2.97% y 2.58% respectivamente. Fogafos mostró diferencias en cuanto a agregados de 0.85 mm, obteniendo 9.26% de agregados; para las variables de conductividad hidráulica, humedad gravimétrica, humedad volumétrica, porosidad total, textura y densidad real no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre bloques, abonos, distancias e interacción abono*distancia.

Palabras clave: Cultivo en callejones, abono orgánico, variables físicas, distancias respecto al árbol.

ABSTRACT

The study was conducted in the village of Concepcion, municipality of Pasto, Nariño, at a height of 3050 meters above sea level, average temperature of 12°C, in order to determine some physical properties of soil in an agroforestry arrangement, aliso (*Alnus jorullensis* H.B.K.) and potato (*Solanum tuberosum* L.) under a completely randomized design in split plot where the main plot corresponded to organic fertilization treatments and Vermicompost Fogafos blocks and subplots tree distances for the crop (0.5 m and 1m), with a total of 4 treatments and 3 replicates for a total of 12 experimental units. Three measurements, the first before the establishment of the agroforestry arrangement (block 1), the second three months (block 2), and the third at 6 months (block 3) were performed. ANOVA test and Tukey comparisons was performed. Statistically significant differences ($p < 0.05$) variables for bulk density and structural stability were found; was apparent density of 0.64 g/cm³ in block three aggregate stability showed significant differences between blocks for added 2 mm, 0.85 mm, 0.5 mm and 0.25 mm with values of 26.31%, 11.59%, 2.97% and 2.58% respectively. Fogafos showed differences in aggregate 0.85 mm, obtaining 9.26 % aggregates; for variables of permeability, gravimetric moisture, volumetric moisture, total porosity, true density and texture not statistically significant between blocks, fertilizers, manure and interaction fertilizers*distance differences.

Keywords: Alley cropping, composting, physical variables, distances from the tree.

INTRODUCCIÓN

Navas *et al.*, (1995) reportan que el suelo es uno de los recursos naturales más valiosos con que cuenta un país para alcanzar un desarrollo económico sustentable; de las características físico-químicas adecuadas, depende básicamente la productividad de los sistemas de producción. Las condiciones físicas de un suelo, determinan la facilidad para la penetración de raíces, aireación, capacidad de drenaje y almacenamiento de agua y retención de nutrientes (Rucks *et al.*, 2004) y adicionalmente, intervienen en el proceso de formación de la materia orgánica, que es el producto de la permanente transformación de los restos orgánicos de origen animal y vegetal, contribuyendo a mejorar la acción de factores químicos y biológicos, que en conjunto determinan el desarrollo de las plantas (Salazar *et al.*, 2003).

Aunque el suelo constituye un recurso primordial en la sostenibilidad de los ecosistemas, éste se encuentra cada vez más amenazado por la intervención del hombre, quién debido a la eliminación de la vegetación natural protectora para establecer sistemas agrícolas tradicionales, provoca la exposición de la superficie del suelo, facilitando la acción directa de agentes erosivos como la lluvia, que junto con el laboreo excesivo actúa en detrimento de la calidad física del suelo y afecta por lo tanto su capacidad productiva (Almorox *et al.*, 2010).

En la actualidad, en Colombia se vienen presentando problemas graves de erosión, debido principalmente a factores naturales y antrópicos. En cuanto a los antrópicos, se originan por el mal uso que se hace del suelo y el excesivo laboreo agrícola, acentuándose esta problemática en las regiones de ladera de los departamentos de Santander, Antioquia, Cundinamarca, Nariño y Cauca (Navas *et al.*, 1995).

CORPOICA, (1997) señala que en suelos de la zona andina de Nariño, los sistemas de labranza convencional, junto a los factores edafoclimáticos y los sistemas de cultivo, han contribuido a acelerar los procesos de degradación de los suelos. Además, reporta que el 100% de las tierras que están dedicadas a la explotación agropecuaria, presentan

disminución de fuentes de agua, el 90% de los suelos agrícolas en Nariño se encuentra en proceso de erosión acelerado y el 33% muestran evidencias de improductividad debido a la disminución de la capa arable, reducción de la materia orgánica, baja retención de humedad y baja capacidad de almacenamiento de nutrientes.

Teniendo en cuenta lo mencionado, la conservación de estos suelos exige la generación de nuevas alternativas de producción que mitiguen y minimicen los efectos de degradación de los mismos a través del tiempo, tal es el caso de los sistemas agroforestales, que además dan respuesta a la problemática global de la escasez de alimentos e ingresos (Mendieta y Rocha, 2007).

Dentro de los sistemas agroforestales, el cultivo en callejones es considerado como uno de los arreglos más promisorios para producir alimento en un contexto no degradativo del ambiente, que pretende combinar los beneficios del mantenimiento de una cobertura forestal, con la producción sostenida de cultivos alimenticios, conservando las propiedades físicas del suelo (CATIE, 1989).

Castillo *et al.*, (2000) al evaluar los cambios en las propiedades físicas del suelo por el uso de enmiendas orgánicas, observaron un incremento en la estabilidad de agregados con valores de 52 a 59%, superando al testigo (46%), efecto que relacionan con el mayor contenido de materia orgánica por el aporte de enmienda orgánica, que habría mejorado la agregación del suelo y aunque para la propiedad densidad aparente se presentaron ligeras diferencias entre tratamientos estas no fueron significativas estadísticamente.

De acuerdo con Montaña y Forero, (2013) al evaluar el efecto de subproductos orgánicos sobre propiedades físicas de un suelo sulfatado ácido, evidenciaron diferencias estadísticas significativas para densidad aparente, donde el testigo generó el valor más alto con 0.63 g/cm^3 , en relación al suelo en el que se aplicó el subproducto, el cual presentó una densidad aparente de 0.56 g/cm^3 ; además, la porosidad total no presentó diferencias estadísticas significativas, sin embargo bajo la aplicación del material orgánico se observó el porcentaje más alto (66.46%). Las variaciones en la densidad las relacionan con la incorporación de

materia orgánica que genera espacios dentro de la matriz del suelo, lo cual provocó un aumento en la macroporosidad, y por ende una disminución en la densidad.

En este sentido, la presente investigación apunta a la evaluación inicial de propiedades físicas del suelo en el arreglo agroforestal Aliso (*Alnus jorullensis* H.B.K.) y Papa (*Solanum tuberosum* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la vereda Concepción, ubicada en la cuenca alta del río Bobo, municipio de Pasto, Nariño, localizada a 0.3° 0.4' 28" latitud Norte y 77° 16' 83.9" longitud Oeste, a una altura de 3050 m.s.n.m., temperatura promedio de 12°C, precipitación media anual de 800 a 1200 mm anuales, humedad relativa promedio de 82% con 1000 horas de sol promedio al año (CONIF y EMPOPASTO, 2004). Según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1990), pertenece a Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB). En esta zona predominan suelos Andisoles, formados a partir de la meteorización de los materiales piroclásticos, producto de recientes deposiciones volcánicas (IICA, 1969).

Para llevar a cabo la investigación y en concordancia con el alcance de los objetivos propuestos, el desarrollo de este estudio estuvo conformado por tres fases, las cuales se describen a continuación.

Fase de implementación

El terreno en el que se estableció el arreglo agroforestal aliso (*A. jorullensis* H.B.K.) – papa (*S. tuberosum* L.), presenta una topografía ondulada; un área aproximada de 864m², donde se formaron 3 bloques, cada uno con un área de 288m² y divididos en 2 parcelas, en cada una de las cuales se sembraron 6 árboles de *A. jorullensis*, a una distancia de 1.5 m entre planta y 6 m entre surco; y el cultivo de *S. tuberosum* se sembró a distancias de 0.3 m entre planta y 0.8 m entre surco.

En total, se sembraron 120 árboles de Aliso con una altura promedio inicial de 25 cm, adquiridos en la Corporación Autónoma Regional de Nariño – CORPONARIÑO y 200 kg de semilla certificada de papa variedad Capiro, obtenidas en Semillas de Nariño.

La aplicación del abono orgánico se realizó teniendo como referencia un análisis químico (Cuadro 1) realizado, a partir del cual se incorporó la cantidad de 200 kg de abono orgánico Lombricompost y 200 kg de Fogafos.

Tabla 1. Análisis químico del suelo vereda Concepción, municipio de Pasto, 2013.

pH	4.8
Materia orgánica	20.75%
Carbono orgánico	12.03%
Nitrógeno	0.68%
Fósforo	6.47 ppm
Calcio	7.9 meq/100g
Magnesio	8.14 meq/100g
Potasio	0.05 meq/100g

Fase de muestreo

Con el fin de observar el cambio en cada una de las variables evaluadas a través del tiempo, se realizaron tres mediciones: la primera antes del establecimiento del arreglo agroforestal (bloque 1), la segunda tres meses después de haberse incorporado el arreglo (bloque 2) y la tercera a los 6 meses (bloque 3).

Fase de análisis

El análisis de las propiedades físicas del suelo se llevó a cabo en los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.

Las propiedades evaluadas fueron: humedad gravimétrica, humedad volumétrica, densidad real, densidad aparente, porosidad total, conductividad hidráulica, textura y estabilidad de agregados (cuadro 2).

Cuadro 2. Metodología utilizada para la evaluación de propiedades físicas del suelo bajo el arreglo agroforestal *A. jorullensis* y *S. tuberosum*, vereda Concepción, municipio de Pasto, 2013.

VARIABLE	METODOLOGÍA	REFERENCIAS
Humedad gravimétrica	$\%H_w = [(\text{peso}(\text{suelo húmedo}) - \text{peso}(\text{suelo secado al horno})) / \text{peso}(\text{suelo secado al horno})] * 100$	Forsythe (1985)
Humedad volumétrica	$\%H_\theta = [(\text{densidad aparente del suelo} / \text{densidad del agua}) * \text{humedad gravimétrica}]$	Forsythe (1985)
Densidad real	Picnómetro	IGAC (2006)
Densidad aparente	Probeta	Cuevas <i>etal.</i> (2012)
Porosidad total	$P_t = (1 - D_a/D_r) * 100$	IGAC (2006)
Conductividad hidráulica	Permeámetro de cabeza constante	Forsythe (1985)
Textura	Bouyoucos	IGAC (2006)
Estabilidad de agregados	Yoder	Yoder (1936)

Diseño experimental

El diseño correspondió a bloques completos al azar en parcelas divididas, propuesto por Di Renzo *et al.*, (2008) donde la parcela principal se sometió a tratamientos de fertilización orgánica con Lombricompost, cuya composición fue rúmen bovino y materiales vegetales de desecho y Fogafos, el cual estuvo constituido por gallinaza, melaza, azufre de mina, cascarillas de arroz y suero lácteo y las subparcelas a distancias del árbol con respecto al cultivo (0.5 m y 1 m), teniendo 4 tratamientos y 3 repeticiones, para un total de 12 unidades experimentales.

Cuadro 3. Tratamientos para el análisis de las propiedades físicas del suelo bajo el arreglo agroforestal *A. jorullensis* y *S. tuberosum*, vereda Concepción, municipio de Pasto, 2013.

Tratamiento	Parcela principal	Subparcela
T1	Abono orgánico lombricompost	0.5 m de distancia respecto al árbol
T2	Abono orgánico lombricompost	1 m de distancia respecto al árbol
T3	Abono orgánico fogafos	0.5 m de distancia respecto al árbol
T4	Abono orgánico fogafos	1m de distancia respecto al árbol

Análisis Estadístico

Los datos se sometieron a un análisis de varianza, haciendo uso del software estadístico InfoStat versión 2013 (Di Renzo *et al.*, 2013). Al presentarse diferencias estadísticas significativas se realizaron Pruebas de comparación de medias de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza para textura, porosidad total, conductividad hidráulica, densidad real, humedad gravimétrica y humedad volumétrica, no mostró diferencias estadísticas significativas entre bloques, distancias, abonos e interacción abono*distancia (tabla 1).

Tabla 1. Análisis de varianza para conductividad hidráulica, textura, porosidad total, densidad real, humedad gravimétrica y humedad volumétrica en el arreglo agroforestal cultivo en callejones con Aliso (*A. jorullensis* H.B.K.) y papa (*S. tuberosum* L.), vereda Concepción, municipio de Pasto, 2013.

Fuente de Variación	G.L	C.M							
		Textura			Porosidad	Conductividad	Densidad	Humedad	Humedad
		Arenas	Limos	Arcillas	Total	Hidráulica	Real	Gravimétrica	Volumétrica
Modelo	7	8.52	7.50	0.64	19.14	6.24	0.04	37.19	39.12
Bloque	2	5.89 ^{ns}	3.20 ^{ns}	1.50 ^{ns}	41.71 ^{ns}	17.61 ^{ns}	0.09 ^{ns}	29.05 ^{ns}	66.23 ^{ns}
Abono	1	0.03 ^{ns}	0.90 ^{ns}	0.59 ^{ns}	22.36 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.03 ^{ns}	132.93 ^{ns}	71.59 ^{ns}
Bloque*abono	2	6.11	6.04	0.15	3.88	2.33	0.01	11.42	7.89
Distancia	1	3.56 ^{ns}	6.12 ^{ns}	0.35 ^{ns}	15.78 ^{ns}	1.15 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.70 ^{ns}	4.45 ^{ns}
Abono*distancia	1	32.01 ^{ns}	27.03 ^{ns}	0.21 ^{ns}	4.66 ^{ns}	2.23 ^{ns}	0.02 ^{ns}	45.71 ^{ns}	49.57 ^{ns}
Error	4	9.18	7.92	0.13	5.85	1.23	0.01	32.14	15.12
Total	11								

ns: No significativo

Estos resultados indican que las propiedades físicas evaluadas, no se ven afectadas por la aplicación de los abonos orgánicos, ni por las distancias manejadas; lo cual probablemente se debe a que por tratarse de evaluaciones en etapas iniciales, el efecto aún no se ha hecho evidente sobre estas propiedades del suelo, puesto que los cambios hacen parte de un proceso lento. Castellanos *et al.*, (1996) reportan que los estiércoles se mineralizan en 70% a partir del primer año de aplicación y con efecto residual en el suelo hasta por dos años y el resto se transforma en humus, que se incorpora al suelo y produce un efecto benéfico en su estructura.

De igual manera García y Duran, (2000) y Burbano, (1989) afirman que las propiedades físicas del suelo se favorecen bajo la incorporación de abonos verdes y orgánicos, no obstante la aplicación debe ser continua y el grado de estos cambios es a menudo muy pequeño y no es posible demostrar su beneficio en uno o dos ciclos de cultivo.

Por otra parte, el efecto de *A. jorullensis* sobre las propiedades físicas evaluadas, no se hizo evidente entre bloques para las distancias evaluadas; lo anterior, posiblemente se relaciona con la edad del árbol, que por tener pocos meses de establecido, aún no hay un efecto por parte de sus raíces y el aporte de hojarasca al suelo, pero podría volverse relevante a través del tiempo. Respecto a lo anterior, Muschler, (1999) asegura que los árboles mejoran las condiciones físicas del suelo mediante el aporte de materia orgánica, sin embargo estos efectos se evidencian a largo plazo, generando un impacto después de años de establecido, y que además las variaciones en las características físicas del suelo, también están en función del manejo.

En concordancia, el estudio realizado por Roncallo *et al.*, (2012) quienes evaluaron por un tiempo de tres años algunas propiedades físicas del suelo como textura, densidad y porosidad, en un arreglo agrosilvopastoril establecido con Ceiba roja (*Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson), no encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos debido posiblemente a la baja incorporación de materia orgánica, ya que las aplicaciones continuas de estiércol permiten obtener tendencias claras en el tiempo, sin

embargo observaron un mejoramiento de estas propiedades, lo cual atribuyen a la influencia del desarrollo de las raíces y la caída de la hojarasca de las arbóreas.

Tabla 2. Parámetros estadísticos para textura, porosidad total, conductividad hidráulica, densidad real, humedad gravimétrica y humedad volumétrica en el arreglo agroforestal cultivo en callejones con Aliso (*A. jorullensis* H.B.K.) y papa (*S. tuberosum* L.), vereda Concepción, municipio de Pasto, 2013.

Variable	Valor	Valor	Promedio	C.V	Desviación		
	máximo	mínimo			estándar	Varianza	
Textura	Arenas (%)	57.24	46.80	51.71	5.86	2.95	8.70
	Limos (%)	42.92	33.00	38.70	7.27	2.76	7.61
	Arcillas (%)	10.42	8.13	9.58	3.81	0.67	0.44
Porosidad Total (%)	71.38	57.78	67.69	3.57	3.78	14.28	
Conductividad Hidráulica (cm/hora)	7.64	0.31	2.25	49.42	2.10	4.41	
Densidad Real (g/cm³)	2.45	1.87	2.15	4.75	0.17	0.02	
Humedad Gravimétrica (%)	83.59	60.45	76.11	7.45	5.94	35.28	
Humedad Volumétrica (%)	59.85	41.86	51.49	7.55	5.51	30.36	

En la tabla 2 se presentan los valores máximos, mínimos y promedios obtenidos para las variables textura, porosidad total, densidad real, humedad gravimétrica y humedad volumétrica, las cuales presentan un coeficiente de variación que oscila entre 3.57 y 7.55, lo cual indica que el nivel de separación de los datos con respecto al promedio es muy homogéneo, por encontrarse en un rango de 0 a menos del 11% (Tapia, 2012). Por el contrario el valor del coeficiente de variación para conductividad hidráulica es de 49.42%, correspondiendo a intervalos que oscilaron desde muy bajos (0,31 cm/hora) a valores altos (7,64 cm/hora), resultado que de acuerdo a la interpretación de Tapia, (2012) es muy heterogéneo. La distribución de los datos de esta variable puede estar influenciada por muchos factores que intervienen, como la presencia de raíces, microorganismo en el suelo, presencia de grietas y demás, por tanto las determinaciones son estimadas y nunca se llega a establecer su valor exacto (Leitón, 1985).

Textura

De acuerdo al triángulo de texturas del suelo propuesto por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, (1993) el material analizado para este estudio corresponde a la clase textural de un suelo franco, por encontrarse un porcentaje promedio de arenas del 51.71%, limos de 38.70% y arcillas en un 9.58% (Tabla 2). La clase textural obtenida de los análisis es característica del tipo de suelos en estudio, pues los suelos Andisoles presentan texturas francas o francolimosas en las partes intermedias del relieve originado por la actividad volcánica (Henríquez *et al.*, 2010).

Para Rucks *et al.*, (2004) la textura es una propiedad que depende de la naturaleza de la roca madre y de los procesos de formación y evolución del suelo. Aunque la textura del suelo puede ser modificada por la remoción de horizontes superficiales debido al laboreo y por el desarrollo de una nueva superficie de textura diferente, ésta es la característica más permanente del suelo (Giménez, 2003). El conocimiento de la textura del suelo permite tener una idea de la velocidad con que pueden ocurrir las reacciones químicas, el movimiento del agua, la circulación del aire y de los gases, factores que son indispensables para el desarrollo vegetal (Charry, 1987).

Porosidad Total

Los resultados de porosidad total, oscilaron entre 71.38% y 57.78% con un promedio de 67.69% (Tabla 2). Los valores normales de porosidad total para un suelo de textura franca se ubican entre el 44% y 52%, porcentajes de porosidad total superiores al 70% pueden ocasionar pérdida de nutrientes del suelo, debido a los fenómenos de lixiviación (CORPOICA, 1998). Los altos valores de la porosidad, se pueden atribuir a que el material evaluado se trata de un suelo que previo al establecimiento del arreglo, presentaba un periodo de más de 5 años de descanso con pasturas; al respecto Charry, (1987) encontró que suelos sometidos a cultivos por muchos años manifestaron una reducción del 25% y cuando se hace uso de maquinaria sin precauciones puede disminuirse en un 50%.

En relación a este estudio, Fernández y Arismendi, (1994) al evaluar al efecto de la aplicación de abonos orgánicos sobre las características físicas del suelo, encontraron que a pesar de observar cierta variación en la porosidad total del suelo en los tratamientos con materia orgánica, en relación al testigo, los valores no presentaron diferencias significativas para esta variable entre materiales aplicados y dosis, lo cual atribuyen al corto tiempo del ensayo. A pesar de no encontrar diferencias estadísticas significativas en la porosidad, se observó que hubo una disminución en el porcentaje de poros entre los bloques 1 y 2, lo cual se debe posiblemente al efecto de las labores preparación del suelo. Charry, (1987) sostiene que las labores culturales de preparación del suelo, ejercen una influencia notable en las capas superficiales porque modifican el tamaño de los agregados naturales y por supuesto, la porosidad se va afectando primordialmente.

Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica es una característica que depende principalmente de la porosidad del suelo; con respecto a la clasificación de la conductividad hidráulica de acuerdo a su rapidez de movimiento, el valor promedio del resultado (2.25 cm/hora) (Tabla 2), se encuentra dentro de una clase moderada que oscila de 2.00 a 6.25 cm/hora según Leitón, (1985).

De acuerdo a la variación de la conductividad hidráulica son muchos los factores que intervienen en este aspecto, como el contenido y la distribución de partículas de arena, limo y arcilla, los microorganismos del suelo y la presencia de grietas o canales dejados por lombrices o raíces en el caso del cultivo de papa. Estos factores tienden a variar de una u otra forma, el valor de la conductividad hidráulica (Leitón, 1985).

Teniendo en cuenta que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 1) para las variables porosidad total y textura, se podría esperar que no se presenten diferencias estadísticas significativas entre tratamientos y bloques para conductividad hidráulica, puesto que esta se encuentra relacionada con la proporción de poros y de partículas del suelo.

En concordancia a esta investigación, López y Pauta, (2012) encontraron que no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los valores de conductividad hidráulica del suelo bajo la aplicación de gallinaza como abono orgánico durante el tiempo de evaluación.

Densidad Real

La densidad real es una propiedad del suelo que no se modifica fácilmente y no es alterada por diferencias en el tamaño de las partículas ni por cambios en el volumen de poros (Thompson y Troeh, 2002). Su valor cambia en función del tipo de minerales del material madre y de la cantidad de materia orgánica del suelo (Buckman y Brady, 1966).

En este estudio se obtuvo una densidad real promedio de 2.15g/cm^3 (Tabla 2), valor que se encuentra debajo de los valores de densidad real de suelos minerales, los cuales varían entre 2.60g/cm^3 a 2.75g/cm^3 (Buckman y Brady, 1966). De acuerdo a Charry, (1987) cuando el contenido de materia orgánica en el suelo es muy alto, la densidad de la fracción mineral disminuye, pues las partículas minerales se cubren de una película orgánica que influye notoriamente en la densidad; además, debido a que la materia orgánica pesa mucho menos que un volumen igual de sólidos minerales, la cantidad de éste constituyente en el suelo afecta marcadamente a la densidad de las partículas, logrando en estos suelos, densidades

reales de menos de 2.4g/cm^3 (Buckman y Brady, 1966). Lo anterior justifica el valor de densidad real encontrado en este estudio, ya que debido al alto contenido de materia orgánica (20.75%), la densidad real es baja, pues como establece Fassbender, (1975) suelos con muy alto contenido de materia orgánica se encuentran en un porcentaje mayor a 10 %.

Contrario a este estudio, Bravo y Sánchez, (2005) encontraron diferencias significativas en la densidad real bajo la aplicación de abonos verdes en el suelo en un cultivo de avena, resultados que atribuyen a las características propias de cada suelo y al proceso de reacomodamiento de partículas que están relacionadas con la incorporación de residuos orgánicos.

Humedad gravimétrica y humedad volumétrica

El agua en el suelo está íntimamente relacionada con un sinnúmero de sus propiedades, como la presencia, cantidad y tipo de coloides, cantidad y distribución del espacio poroso, permeabilidad, escorrentía, nivel freático, drenaje natural y presencia de capas endurecidas, todas ellas están, de una u otra forma relacionadas con los procesos de formación de los suelos (IGAC, 1995).

Llorca y Bautista (2006), reportan que normalmente cuando el suelo está saturado, la humedad gravimétrica oscila entre en 30% y 40%, aunque en suelos orgánicos o volcánicos puede alcanzar un valor cercano al 100%. En esta investigación, se obtuvo un valor promedio para esta variable de 76.11% (Tabla 2), encontrándose por encima del promedio establecido. Esto se debe probablemente a la alta porosidad que presenta el suelo (67.69%) y al contenido de materia orgánica.

De igual forma Rincón *et al.*, (2008) afirman que a mayor contenido de materia orgánica, alcanza humedades gravimétricas más altas debido a que los materiales orgánicos deben absorber más agua que los minerales. Los mismo autores sostienen que el aprovechamiento de estas condiciones de suelo orgánicos permite tener un mayor rango de humedad para realizar prácticas de laboreo sin llegar al amasamiento del suelo.

En cuanto a la variable humedad volumétrica, Llorca y Bautista, (2006) afirman que ésta equivale a la altura de agua que hay en una unidad de espesor de suelo, la cual puede alcanzar como valor máximo el valor de la porosidad del suelo, afirmación que concuerda con éste estudio ya que el valor promedio para humedad volumétrica es de 51.49%, siendo inferior a la porosidad que fue de 67.69% (Tabla 2).

De acuerdo a Burbano *et al.* (2006), el contenido de materia orgánica, ocasiona que gran cantidad de agua sea retenida fuertemente a las superficies de adhesión y le otorga al suelo la capacidad de mantener por más tiempo su condición de humedad; además, como lo asegura Tobón, (2009) los suelos en los ecosistemas alto-andinos, son generalmente derivados de ceniza volcánica (suelos Andisoles), caracterizados por un alto contenido de materia orgánica; además, la presencia de lluvia continua con niebla hace que los suelos permanezcan húmedos (cercaos a la saturación) durante casi todo el año.

Contrario a este estudio, Rodríguez y Saa, (2004) encontraron diferencias estadísticamente significativas en la humedad volumétrica bajo suelos sometidos a recuperación mediante zanjas de fertilidad, encontrando valores para esta variable de 37 - 40% de humedad.

Densidad aparente y estabilidad de agregados

El análisis de varianza para densidad aparente, indica diferencias estadísticamente significativas entre bloques (Tabla 3), sin embargo, no se evidencia diferencias significativas entre abonos, distancias e interacción abono*distancia.

El análisis de varianza para agregados, indica diferencias estadísticamente significativas entre bloques para agregados de 2mm, 0.85mm, 0.5mm y 0.25mm y entre abonos para 0.85mm, sin embargo, no se presentan diferencias estadísticas significativas entre distancias y la interacción abono*distancia (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza para densidad aparente y estabilidad de agregados de 2mm, 0.85mm, 0.5mm y 0.25mm, en el arreglo agroforestal cultivo en callejones con Aliso (*A. jorullensis* H.B.K.) y papa (*S. tuberosum* L.), vereda Concepción, municipio de Pasto, 2013.

Fuente de variación	G.L	C.M				
		Densidad aparente	Estabilidad de agregados			
			2 mm	0.85 mm	0.5 mm	0.25 mm
Modelo	7	2.3	582.15	11.82	5.52	5.12
Bloque	2	0.01*	2019.58*	36.46*	18.11*	17.03*
Abono	1	3.0 ^{ns}	6.57 ^{ns}	8.22*	1.32 ^{ns}	1.18 ^{ns}
Bloque*abono	2	2.5	11.02	0.25	0.29	0.13
Distancia	1	3.3 ^{ns}	5.04 ^{ns}	0.67 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.01 ^{ns}
Abono*distancia	1	1.2 ^{ns}	2.27 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.34 ^{ns}
Error	4	1.7	5.70	0.15	0.21	0.34
Total	11					

ns: No significativo

*: Significativo <0.05

Densidad Aparente

La prueba de comparación de medias de Tukey para la variable densidad aparente, muestra diferencias estadísticas significativas entre bloques, siendo más alta en el bloque dos con un valor de 0.72 g/cm³, en la etapa inicial del ensayo presentó valores de 0.70 g/cm³, mientras que en el bloque tres presentó un promedio de 0.64 g/cm³, siendo éste el menor valor entre las densidades y diferenciándose estadísticamente de los bloques uno y dos (Tabla 4).

Tabla 4. Prueba de Comparación de Medias de Tukey entre bloques para densidad aparente, en el arreglo agroforestal cultivo en callejones con Aliso (*A. jorullensis* H.B.K.) y papa (*S. tuberosum* L.), vereda Concepción, municipio de Pasto, 2013.

Bloque	1	2	3
Densidad aparente (g/cm ³)	0.7a	0.72 a	0.64b

Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05)

Las diferencias significativas que se presentan entre los bloques dos y tres se deben posiblemente a muchos factores y de acuerdo a Ingaramo *et al.*, (2003) van desde la textura, contenido de materia orgánica, hasta el manejo que se le da al suelo. En contraste con la densidad real, que es más o menos constante, la densidad aparente es altamente variable. Lo descrito se ajusta al estudio, pues los suelos en investigación estuvieron sujetos a las aplicaciones de abonos orgánicos y manejos de laboreo constante que probablemente causa al cambio en el bloque tres.

De acuerdo con lo descrito por Leitón, (1985) densidades aparentes bajas que van de 0.2 a 0.6 g/cm³, presentan espacios porosos muy altos debido a que éstos suelos son influenciados por el contenido de materia orgánica. Lo anterior puede estar relacionado con éste estudio, pues al suministrar abonos orgánicos, el suelo iría cambiando paulatinamente, mejorando esta propiedad física.

Lo anteriormente mencionado, concuerda con estudios realizados en suelos vírgenes, que han demostrado que la densidad aparente varía entre 1.0 y 1.6 g/cm³, lo cual puede ser causado por el contenido de materia orgánica, variaciones en la agregación y el volumen de poros (Charry, 1987).

Charry, (1987) señala que la materia orgánica al degradarse o humificarse con valores de densidad aparente inferiores a 1.0 gr/cm³, debe esperarse que aquellos suelos que presentan cantidades elevadas de materia orgánica tengan densidad aparente muy baja, mientras que los suelos que manifiestan alto grado de compactación puedan alcanzar valores superiores a 2.0 gr/cm³, por tanto de acuerdo con los resultados obtenidos entre los bloques uno y dos (Tabla 3), no presentan valores de densidad aparente relativamente altos. Estos valores se

deben probablemente al material parental que le ha dado origen; los suelos derivados de cenizas volcánicas generalmente tienen una densidad aparente que fluctúa entre 0.70 y 0.98 g/cm³ (Núñez, 1985) y son caracterizados por presentarse en suelos de evolución más reciente (IICA, 1969).

Estabilidad de agregados

Tabla 5. Prueba de comparación de medias de Tukey entre bloques, para agregados de 2mm, 0.85mm, 0.5mm y 0.25mm, en el arreglo agroforestal cultivo en callejones con Aliso (*A. jorullensis* H.B.K.) y papa (*S. tuberosum* L.), vereda Concepción, municipio de Pasto, 2013.

Agregados (%)	Bloque		
	1	2	3
2 mm	62.98b	67.15 b	26.31 ^a
0.85 mm	8.12 b	11.59 c	5.57 a
0.5 mm	5.33 b	2.97 a	1.08 a
0.25 mm	5.07c	2.58 b	0.98 a

Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05)

Agregados de 2 mm

La Tabla 5 indica que sobresalen por su mayor porcentaje, los agregados de 2mm; de acuerdo con Gavande, (1986) las condiciones físicas óptimas para el crecimiento de las plantas se encuentran en suelos con agregados de 2 mm y la mayor estabilidad estructural en un porcentaje alto de agregados mayores a 2mm. Así mismo, los suelos derivados de cenizas volcánicas de grano fino tienen estructura estable y con presencia de materia orgánica la estabilidad es mayor (CENICAFÉ, 1975).

Hubo un incremento en el porcentaje de estos agregados entre los bloques uno y dos; para el bloque tres, el porcentaje de agregados de 2 mm disminuyó representando una diferencia estadísticamente significativa, resultado que puede estar relacionado con la cosecha del cultivo de *S. tuberosum* que para esta época ya se había realizado, por lo que el suelo ya no

estuvo bajo la influencia mecánica de las raíces de las plantas, pues como aseguran Buckman y Brady (1966), la actividad física de las raíces de las plantas, actúan sobre la formación de los agregados del suelo.

Agregados de 0.85 mm

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre bloques, observando un aumento significativo entre los bloques uno y dos (Tabla 5); éste comportamiento se puede atribuir al efecto de la materia orgánica que se incorporó al suelo, a las actividades de preparación del suelo y a la exploración radicular de las plantas. Salazar *et al.*, (2003) afirman que el abono orgánico ejerce una acción óptima sobre la estabilidad de la estructura frente a la degradación del suelo por agentes como el agua y el viento. Además, la actividad física de las raíces de las plantas, el laboreo y la influencia de la degradación de la materia orgánica son factores que actúan sobre la formación de los agregados del suelo (Buckman y Brady, 1966). Para el bloque tres, hubo una disminución en la cantidad de agregados de 0.85 mm, siendo estadísticamente significativa, lo cual probablemente se relaciona con el proceso de humificación de la materia orgánica. Frente a lo anterior, Beare *et al.*, (1994) manifiestan que conforme el proceso de humificación aumenta, disminuye el porcentaje de agregados grandes.

Agregados de 0.5 mm

Hubo una disminución en el porcentaje de estos agregados entre bloques, presentándose una diferencia estadísticamente significativa entre los bloques uno y dos. Este comportamiento puede deberse a que a corto plazo, la transformación de la materia orgánica es reducida y se favorece sobre todo, la formación de agregados grandes. Este resultado se obtuvo, quizá porque se trata de un suelo que previo al establecimiento del arreglo agroforestal, presentaba un periodo de más de 5 años de descanso con pasturas y el suelo no estaba condicionado por labores culturales, a través de las cuales los agregados del suelo sufrieron cambios. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Amezcuita y Volverás, (2009) quienes observaron una disminución en el porcentaje de agregados, comportamiento que atribuyen al cambio a uso agrícola del suelo.

Agregados de 0.25 mm

El menor porcentaje fue para los agregados de 0.25 mm, el cual disminuyó entre los bloques, mostrando diferencias estadísticamente significativas entre éstos. Resultados similares fueron registrados por Sánchez *et al.*, (2006) quienes evaluaron la distribución de agregados bajo la aplicación de Lombricompost en un suelo arcilloso, encontrando un incremento en la proporción de macroagregados (>0.5mm) en los suelos donde se aplicó mayor cantidad del abono orgánico y al incrementarse la dosis de enmienda, la cantidad de microagregados disminuyó. Este comportamiento puede relacionarse por la acción de laboreo, agua de escorrentía por los efectos erosivos y la presencia de surcos del cultivo (CENICAFÉ, 1975).

Tabla 6. Prueba de Comparación de Medias de Tukey para agregados de 0.85 mm, en el arreglo agroforestal cultivo en callejones con Aliso (*A. jorullensis* H.B.K.) y papa (*S. tuberosum* L.), vereda Concepción, municipio de Pasto, 2013.

Agregados (%)	Abono	
	Lombricompost	Fogafos
0.85 mm	7.60a	9.26b

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

La prueba de comparación de medias de Tukey entre abonos (Tabla 6), indica que la mayor estabilidad de agregados de 0.85 mm, se encuentra bajo la aplicación de abono orgánico Fogafos, con un valor calculado de 9.26%, diferenciándose estadísticamente del abono Lombricompost, correspondiente a 7.60% en el volumen de agregados de este tamaño. Lo anterior indica que bajo la aplicación de Fogafos, existe mayor protección del suelo contra el efecto de las gotas de lluvia, además el Lombricompost presenta alta acumulación de casi todos los elementos nutricionales, con relación a los contenidos del suelo, por efecto de una aparente selección y concentración de ellos durante su paso a través del tracto digestivo de la lombriz; no aportan buena cantidad de humus, pero mejoran algunas condiciones físicas del suelo como su retención de humedad y su estabilidad estructural (Jaramillo, 2002).

Los agregados, son el resultado de la fuerza de unión entre las partículas del suelo, siendo de gran importancia para la protección contra la erosión (Cerdá, 1998); permiten evaluar la calidad del suelo (Alvear *et al.*, 2007). La naturaleza de la perdurabilidad, formación y estabilidad de los agregados depende de la dinámica de descomposición de la materia orgánica y el movimiento y la disponibilidad de agua y aire dentro del suelo, que pueden estar influenciados por el estado de agregación de sus partículas (Cabría *et al.*, 2002).

La gallinaza tiene un efecto benéfico sobre el suelo, pues lo vuelve biológicamente activo y en la mayoría de los casos, el resultado neto de la actividad biológica, repercute en el mejoramiento de la estructura del suelo por efecto de la agregación que el estiércol de gallina en descomposición ejerce sobre las partículas del suelo (Martínez *et al.*, 1999). Al igual que en este estudio, Acevedo *et al.*, (2001) encontraron que la agregación de las partículas del suelo bajo la aplicación de gallinaza como abono orgánico fue superior en comparación con el estiércol bovino, como consecuencia del efecto agregante de la gallinaza. Abonos orgánicos como el estiércol de gallina, contienen proporciones elevadas de calcio (humatos de calcio) y otros cationes divalentes, que forman uniones entre ellos y los componentes minerales de la fase sólida (Kononova, 1982).

CONCLUSIONES

Aunque no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre distancias, la inclusión de árboles de aliso en el cultivo de papa a largo plazo puede dar resultados marcados en el mejoramiento de propiedades físicas del suelo como densidad real, densidad aparente, textura, estabilidad de agregados, porosidad total, conductividad hidráulica, humedad gravimétrica y humedad volumétrica.

La aplicación del abono orgánico proveniente de estiércol de gallina permite el mejoramiento de la estructura del suelo mediante la formación de agregados de 0.85mm, volviendo el suelo menos susceptible a procesos erosivos, y alcanzando a largo plazo la transformación de características relacionadas con ésta, como porosidad, humedad y densidades, contribuyendo al adecuado desarrollo de las plantas.

La incorporación de abonos orgánicos tuvo un efecto benéfico sobre la formación de agregados y la densidad aparente del suelo a través del tiempo de evaluación, aspecto que puede mejorar las condiciones para el desarrollo de las plantas y optimizar la circulación de agua y la absorción de nutrientes.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, O.; Velásquez, A. y Flores, D. 2001. Agregación por especies vegetales y abonos orgánicos en tepetates fracturados en condiciones de invernadero. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. p 366.

Almorox, A.; López, F.; Rafaelli, S. 2010. La degradación de los suelos por erosión hídrica, métodos de estimación. Primera edición. Murcia, España. 263 p.

Alvear, M.; Reyes, F.; Morales, A.; Arriagada, C. y Reyes, M. 2007. Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-Sur de Chile con perturbación antrópica. *Ecología Austral*. 17: 113 – 122.

Amezquita, E. y Volverás, B. 2009. Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. En: <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/oferta/estabilidadestructural.pdf>. 5 p.; consulta: febrero 2014.

Beare, M.; Hendrix, P. y Coleman, D. 1994. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional– and no–tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, Estados Unidos. Pp777-786.

Bravo, C. y Sánchez, C. 2005. Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo bajo dos modalidades de zanjas de alta fertilidad, y la productividad de arveja (*Pisum sativum*) v. Santa Isabel, en el corregimiento de Mapachico, municipio de Pasto (Nariño). Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. p 55.

Buckman, H. y Brady, N. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Montabner y Simón, S.A. Barcelona, España. Pp 42 – 73.

Burbano, H.; Coral, D. y Unigarro, A. 2006. Características fisicoquímicas de los suelos de Tangua y Yacuanquer Nariño, Colombia. Suelos Ecuatoriales. Nariño, Colombia. 36(1): 30 - 35.

Burbano, H. 1989. El suelo una visión sobre sus componentes biorgánicos. Primera edición. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. p 392.

Cabría, F.; Calandroni, M. y Monterubbianesi, M. 2002. Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas. Revista Ciencia del suelo. 20(2): 69 - 80.

Castellanos, J.; Etchevers B.; Aguilar S. y Salinas J. 1996. Efecto a largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región irrigada del norte de México. Revista Terra Latinoamericana. 2(4): 293 – 299.

Castillo, A.; Gauna, D.; Dalurzo, H. y Fernández, S. (2000). Cambios en las Propiedades Físicas por el uso de Enmiendas Orgánicas. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste. Buenos Aires, Argentina. 3 p.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE. 1989. Informe anual: Reseña de las principales actividades del CATIE en 1988 y primer semestre de 1989. Editorial IICA. 2(10). Turrialba, Costa Rica.p 75.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA. 1969. Suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica. p 15.

Centro Nacional de Investigación de Café – CENICAFÉ, 1975. Manual de conservación de suelos de ladera. Editorial Litomoderna LTDA, Caldas, Colombia. p 42.

Cerdá, A. 1998. Soil aggregate stability under different Mediterranean vegetation types. Revista Catena. 32: 73-86 p.

Charry, J. 1987. Naturaleza y propiedades físicas de los suelos. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias en Palmira. Palmira, Colombia.p 200.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA. 1997. Agrocambio, Colombia D.C. p 39.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – CORPOICA. 1998. Qué sabes sobre el cultivo de papa, Bogotá, Colombia. p 11.

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal – CONIF y Empresa de Obras Sanitarias de Pasto - EMPOPASTO. 2004. Actualización del diagnóstico físico-biótico y socioeconómico y formulación del plan de ordenamiento y manejo integral el Río Bobo en el departamento de Nariño. Bogotá, Colombia. Pp17 – 39.

Cuevas, L.; Salvador, J. y Barrios, J. 2012. Manual de prácticas: campo y laboratorio. Universidad autónoma de Chiapas. Chiapas, México. p 26.

Departamento de Agricultura de Estados Unidos – USDA. 1993. Soil Survey Division Staff, SSDS. En: http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/planners/?cid=nrcs142p2_054262. Capítulo 3., consulta: marzo 2014.

Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Gonzales, L.; Tablada, E.; Díaz, M.; Robledo, C. y Balzarini, M. 2008. Estadística para las ciencias agropecuarias. Séptima edición, Córdoba, Argentina. p 265.

Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Gonzales, L.; Tablada, E.; Robledo, C. y Balzarini, M. 2013. Infostat, Software Estadístico, Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC). Córdoba, Argentina. 1 p.

Fassbender, H. 1975. Química de Suelos. Primera edición. Turrialba, Costa Rica. p 89.

Fernández, N y Arismendi, Y. 1994. Efecto de la erosión simulada y el abonamiento orgánico sobre la productividad del suelo usando remolacha (*Beta vulgaris* L.) como cultivo indicador. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. p 26.

Forsythe, W. 1985. Física de Suelos, Manual de laboratorio. San José de Costa Rica: IICA. p 28.

García, J. y Duran, R. 2000. Evaluación de sistemas de labranza sobre la producción de cultivos en suelos aldoneros del Valle del Cesar. Revista Suelos Ecuatoriales. 30(1):76 - 85.

Gavande, S. 1986. Física de suelo: principios y aplicaciones. Editorial Limusa. México. p 351.

Giménez, R. 2003. Física del suelo, Cátedra de Edafología. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina. Pp3-7.

Henríquez, C.; Cabalceta, G.; Bertsch, Flora. y Alvarado, A. Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAG. 2010. Principales suelos de Costa Rica. En: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html. 1p.; consulta: marzo 2014.

Holdridge, R. 1990. Zonas de vida de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 81 p.

Ingaramo, O.; Paz, A. y Dugo, M.; 2003. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la península Ibérica. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. 4 p.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Sexta edición, Bogotá, Colombia. p 370.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. 1995. Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Bogotá, Colombia. p 437.

Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. p 443.

Knonova, M. 1982. Materia orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Barcelona, España. p 47.

Leitón, J. 1985. Riego y Drenaje. Primera edición. San José, Costa Rica, p 26.

Llorca, R. y Bautista, I. 2006. Prácticas de atmósfera, suelo y agua. Universidad Politécnica de Valencia. España. p 61.

López, M. y Pauta, D. 2012. Efectos en la calidad del agua y del suelo por el uso de la Pollinaza como fertilizante en los pastos de la zona de Cruzpamba – Cajas. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. p 175.

Martínez, C.; Romero, R.; Corlay, L.; Trinidad, A. y Snatoyo, L. 1999. I Simposium Internacional y Reunión Nacional, Lombricultura y Abonos Orgánicos. México. p 36.

Mendieta, M. y Rocha, L. 2007. Universidad Nacional Agraria Sistemas Agroforestales. En:

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/1_RENF08M538.pdf. Pp 68 – 69; consulta: enero 2013.

Montaño, J. y Forero, F. 2013. Efecto de subproductos orgánicos del proceso panelero sobre propiedades físicas de un suelo sulfatado ácido. Revista Corpoica Ciencia Tecnología Agropecuaria. 14(2): 207-214.

Muschler, R. 1999. Árboles en Cafetales. Módulo de Enseñanza Agroforestal N° 5. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE. Turrialba, Costa Rica. p 17.

Navas, J.; Amezquita, E.; Ramírez, M. y Gonzáles, E. 1995. Manejo y conservación de suelos en Colombia. En: La erosión, manejo y conservación de suelos de ladera en la subregión andina. Editorial IICA, Lima, Perú. p 9.

Núñez, J. 1985. Fundamentos de la Edafología. Segunda edición, San José, Costa Rica, p 67.

Rincón, A.; Castro, H. y Gómez, M. (2008). Caracterización física de los suelos sulfatados ácidos del distrito de riego de Alto Chicamocha (Boyacá) y su aplicación de manejo. Boyacá. Pp139 – 140.

Rodríguez, J. y Saa, C. 2004. Evaluación de algunas propiedades físicas y rendimiento de para criolla amarilla (*Solanum phureja*) en dos lotes sometidos a recuperación mediante la utilización de zanjas de fertilidad, en el corregimiento de Mapachico, municipio de Pasto. Trabajo de Grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. Pp14 – 19.

Roncallo, B.; Murillo, J.; Bonilla, R. y Barros, J. 2012. Evolución de las propiedades del suelo en un arreglo agrosilvopastoril basado en Ceiba roja (*Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson). Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 13(2): 167-178.

Rucks, L.; García, F.; Kaplán, A.; Ponce de León, J. y Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 2 p.

Salazar, E.; Fortis, M.; Vásquez, A. y Vásquez, C. 2003. Abonos Orgánicos y Platicultura. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México. p 39.

Sánchez, R.; Ordas, V.; Benedicto, G.; Hidalgo, C. y Palma, D. 2006. Regeneración estructural de un suelo arcilloso por aportes de Vermicompost en la Chontalpa, Tabasco, México. Red de Revistas Científicas de América Latina, el caribe, España y Portugal. 2(1): 13- 26.

Tapia, F. 2012. Interpretación de las medidas estadísticas. Práctica 5 de laboratorio de Estadística I aplicada al área Económico Administrativo. Universidad de Sonora, Departamento de Matemáticas. 2 p.

Thompson, L. y Troeh, F. 2002. Los suelos y su fertilidad. Cuarta edición. Editorial REVRETÉ. Barcelona, España. p 82.

Tobón, C. 2009. Los bosques andinos y el agua. Serie investigación y sistematización N°4. Programa Regional ECOBONA – INTERPRETATIO, CODESAN. Quito, Ecuador. p 22.

