

IMPACTO DE GOTA COMO METODOLOGÍA PARA ESTUDIAR LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE DIFERENTES USOS DEL SUELO EN EL ALTIPLANO DE PASTO¹

Pedro Francisco Sanguino Ortíz²

PhD. Jesús A. Castillo Franco³

RESUMEN

La investigación se realizó en la Granja Experimental de FEDEPAPA ubicada en el corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto - Nariño; presenta precipitaciones medias anuales de 782mm, temperatura promedio de 13°C, clima correspondiente al piso térmico frío o microtérmino – Subtropical.

Se seleccionaron 5 lotes con diferentes historiales de usos, se marcaron 3 parcelas por lote para sus respectivos muestreos, obteniendo 45 muestras de suelo que se tamizaron para tener diferentes tamaños de agregados. Se utilizó un diseño experimental mixto factorial de 5 x 4 correspondiente a 5 historiales y 4 tamaños de agregados. De acuerdo a los historiales, los lotes se clasificaron así: 1. Bosque secundario, 2. Pastoreo durante 10 años, 3. Pastoreo durante 20 años, 4. Silvopastoril durante 20 años, 5. Rotación papa - pasto durante 20 años.

Se utilizó un simulador de lluvia tipo gotero, con el cual se evaluó la estabilidad estructural de los agregados al impacto de gota de lluvia en cada tratamiento. El análisis de varianza mostró diferencias significativas en los tratamientos, el análisis comparativo mostró que el lote 5, se comporta diferente a los otros y el análisis comparativo aplicado a los agregados, mostró diferencia en el lote 5 en los agregados (2mm, 1mm y 0.5 mm) con los mayores

¹ Artículo presentado a la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño como requisito para optar el Título de Ingeniero Agroforestal.

² Estudiante tesista, Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño, 2009; E-mail: Francisko369@gmail.com

³ Profesor asistente. I. A. MSc .Ph.D Suelos. Facultad Ciencias Agrícolas, Programa Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia. 2009.

valores de separabilidad, excepto en tamaño de 0.25 mm que se comporto igual a los demás. Los resultados de esta investigación determinaron que el lote 5, presenta mayor inestabilidad en los agregados del suelo.

Se concluye que la pérdida de estabilidad del suelo es atribuida al uso y manejo de este; la excesiva labranza, la pérdida de cobertura vegetal, la disminución de la materia orgánica y los inadecuados manejos de los cultivos, provocan fragilidad en los agregados del suelo frente al impacto de las gotas de lluvia, perdiendo así, potencial agrícola.

Palabras clave: tamaño de agregados, separabilidad, simulador de lluvia

ABSTRACT

The research was conducted at experimental farm of FEDEPAPA that is localized in the township of “Obonuco”, municipality of Pasto-Nariño; it has rainfalls annual average 782mm, average temperature of 13°C, the climate is characterized for being of thermal floor cold or micro-thermal - Subtropical.

There were selected five (5) batches with different historical records of uses given to these; three (3) plots were marked batch for their sampling, like result were gotten 45 (forty-five) samples of soil these were sieved to get different aggregate sizes. Here was used the factorial experimental design mixed 5 x 4, where are five (5) records and four (4) aggregate sizes. According to records, the batches were classified as follows: 1. Secondary forest, 2. grazing for 10 years, 3. grazing for 20 years, 4. Silvopastoral for 20 years, 5. Rotation potato – grass for 20 years.

In this project was used a rainfall simulator drip type, with this was assessed the stability of the different aggregate sizes each treatment, to determine stability the impact of raindrops. The analysis of variance showed significant differences in treatments, the comparative analysis showed that five (5) batch behaves differently to the others batches, and the comparative analysis applied to the aggregates, it showed differences in five (5) batch in aggregates (2, 1 y 0.5 mm) with the highest values separability, except in size 0.25 mm, this

was behaved like others batches. The results of this investigation determined that five (5) batch has more instability in soil aggregates.

Concludes to that loss of soil stability is due to the use and handling of this, the excessive tillage, loss of vegetation and the inadequate management of crops, causing thinning of the soil aggregates against the impact of raindrops, losing the agricultural potential.

Keywords: aggregate size, separability, rainfall simulator

INTRODUCCIÓN

El aumento excesivo en la población del mundo ha hecho que el hombre busque nuevas alternativas de producción, como técnicas inadecuadas de labranza para la preparación de tierras. Este problema está conduciendo a un rápido deterioro del suelo, tanto físico, químico y biológico, provocando a fuertes descensos en la productividad agrícola y deterioro del medio ambiente (FAO, 2000).

El suelo es considerado como uno de los recursos naturales más importantes, de ahí la necesidad de mantener su productividad, para que a través de él y las prácticas agrícolas adecuadas se establezca un equilibrio entre la producción de alimentos y el acelerado incremento del índice demográfico.

Cerca del 40% del territorio colombiano presenta erosión de muy ligera a muy severa y la zona andina es la más afectada, con el 88% de su área por erosión hídrica (Olmos y Montenegro, 1987). Según estudios realizados en suelos de Nariño el 50% está con problemas de erosión y el 17 % se encuentra degradado. (Mora, 2009).

Gran parte de las tierras han sido utilizadas sin estudios previos que muestren cual es el tipo de uso más adecuado. Muchos tipos de uso de la tierra, agrícolas o no, son hechos de forma y en lugares inadecuados, lo que ha resultado en pobreza, degradación ambiental, explotación económicamente ineficiente y pérdida de recursos naturales como suelo y agua. (FAO, 2000).

La erosión hídrica afecta de muchas formas negativas al suelo como, transporte y sedimentación de las partículas, escurrimiento superficial, y uno de los más importantes la erosión que provoca la gota de agua; las gotas de lluvia golpean la tierra, aflojando partículas de suelo, si la tierra no tiene cobertura vegetal, las gotas pueden disgregar muchas toneladas de suelo que son transportadas por la escorrentía superficial. Las lluvias de alta intensidad impactan los suelos de baja estabilidad estructural con poca o ninguna cobertura superficial (Castillo, 1994); es la estabilidad estructural de los agregados del suelo, la cual depende de la naturaleza de los materiales, del contenido de materia orgánica y con mayor importancia el manejo del suelo.

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar la estabilidad de agregados en un suelo andisol (*Vitric Haplustands*) que han permanecido durante varios años bajo diferentes usos y manejos.

Materiales y Métodos

Este estudio se realizó en las instalaciones de la Granja experimental de FEDEPAPA, corregimiento de Obonuco; ubicado en el municipio de Pasto, Departamento Nariño, a 1°13' latitud norte y 77°16' longitud oeste, a 2.710 msnm, con una precipitación promedio anual de 782 mm, y una temperatura promedio de 13° C. La Granja Experimental se encuentra dentro de zona de vida Bs-pm (bosque seco-premontano) (Navia, Rodríguez y Navia, 2008).

Los suelos corresponden a una consociación Vitric Haplustands, AMBc fase moderadamente inclinada, originado de cenizas volcánicas; son muy profundos y moderadamente profundos, bien a imperfectamente drenados y de fertilidad alta y moderada. Estos suelos se presentan en el banco de las mesetas dentro del paisaje de altiplanicie, pertenecen al grupo textural franco, desarrollados a partir de cenizas volcánicas (IGAC, 2004).

Se evaluó la estabilidad de los agregados del suelo al impacto de gota de lluvia, utilizando un simulador de lluvia tipo gotero (Castillo, 1994), mediante el cual se determina la

separabilidad de los agregados. Las simulaciones se realizaron en las diferentes muestras y tamaños de agregados de los suelo (2mm, 1mm, 0.5mm y 0.25) durante un tiempo de 16 minutos. Para los muestreos de suelo, se tomaron diferentes lotes de acuerdo a los historiales de usos; en cada lote se establecieron 3 parcelas, las dimensiones de cada parcela fueron de 21 metros de largo por 8 metros de ancho, ubicadas en la parte alta del lote, parte media y parte baja; en este orden de ideas el diseño experimental se ajusta a un modelo mixto factorial de 5x 4 donde se tuvo 5 historiales de usos del suelo y 4 tamaños de agregados. De cada parcela se tomaron 3 muestras de suelo de manera al azar para obtener un total de 9 muestras de suelo por lote; las muestras se secaron al aire durante 15 días, y se tamizaron en un agitador eléctrico con 5 diferentes calibres de tamices (No.5, No.10, No.18, No.35, No.60), tamices correspondiente a tamaños de agregado de >2 mm, 2mm, 1mm, 0.5mm y 0.25mm durante 5 minutos; las muestras recogidas de la tamización se almacenaron en bolsas zipper de aproximadamente de 50 gramos de capacidad y previamente rotulado.

Las muestras tomadas, se avían a laboratorio para un análisis de suelo y obtener resultados del % del contenido de materia orgánica, ya que este es una propiedad que puede determinar las respuestas de la estabilidad de los agregados.

La calibración del simulador de lluvia tipo gotero se basó en registros existentes de precipitación máximas mensuales (mm) en 24 horas de últimos 20 años. Para calibrar el tamaño de gota de lluvia se aplico la metodología “bolita de harina” (Hudson, 1964) la cual consistió en, capturar gotas de lluvia en una caja petri llena de harina. Cada gota de lluvia formo una pequeña bolita de harina húmeda que fue secada al horno a 105°C durante 6 horas, logrando conseguir glóbulo duro separable de harina; con un calibrador se determina el tamaño de las gotas y con una matriz de datos se obtiene un promedio del tamaño de las gotas de lluvia. A continuación se buscaron agujas hipodérmicas de diferentes tamaños y se realizo el mismo procedimiento de “bolita de harina” en el cual se obtiene la aguja hipodérmica que arrojaba un tamaño de gota similar al promedio del tamaño de las gotas de lluvia. Para la medición de la cantidad de agua que representa una gota de agua de las agujas hipodérmicas, se utilizo una probeta de 100 cm³ en la cual se hizo caer 1 gota/seg

durante 10 minutos; para calibrar la intensidad se hace la relación de la cantidad de agua en una determinada área y poder llevar esa cantidad de agua en el área del separador de agregados 1 pulgada)

Para determinar la velocidad terminal y la energía sintética de las gotas de agua del simulador nos basamos en información propuesta, las cuales anota que se requiere de cierta distancia de altura para alcanzar la velocidad termina (Park, 1983). A un con altura de caídas de 1.5 metros o de 2 metros se alcanzan velocidades muy cercanas a la velocidad terminal real (Buritaca y Polanco, 1994). Laws (1941) mediante experimentaciones fija velocidades de caída de gota de agua, con diferentes diámetros (D) y varias alturas (H), planteando una matriz de velocidades terminales. (Tab. 1)

D (mm)	H (m)				
	0.5	0.75	1	1.5	2.0
1.50	2.76	3.26	3.64	4.18	4.50
2.00	2.89	3.40	3.83	4.47	4.92
2.5	2.96	3.50	3.98	4.65	5.19
3.0	3.0	3.58	4.09	4.79	5.37
3.5	3.03	3.64	4.15	4.90	5.52
4.0	3.05	3.67	4.21	4.98	5.63
4.5	3.07	3.70	4.24	5.05	5.72

Para calcular la energía cinética de la gota de lluvia, se aplico la ecuación propuesta por Wischmeier y Smith (1978).

$$EC = 1/2 m V^2$$

EC: Energía cinética Lb/pie

m: masa de la lluvia Slugs (Lb/pulg²)

V: velocidad de impacto

Las simulaciones se realizaron en los 4 diferentes tamaños de agregados, para cada uno de los usos del suelo. En cada simulación se tomo muestras de los agregados con un peso inicial (secos al aire) y se lo depositaba en el separador de agregados, que se construyo con el propósito de apartar los agregados de la muestra, de las partículas afectadas por el impacto de las gotas. El separador de agregados es de forma cilíndrica el cual tenía 2.5cm

de diámetro y 7 cm de largo, en uno de los extremos tenía un maya metálica (No.60) formando una media esfera, con el fin de mantener los agregados en el mismo sitio o sea estuvieran siempre dentro de la zona de impacto de las gotas. El separador de agregados estaba sobre un recipiente que recoge el suelo desprendido por el impacto de las gotas; todo este sistema colector estaba sobre una plataforma que giraba a 5 rpm, permitiendo que las gotas cayeran en diferentes sitios de la muestra; terminada la simulación se recogía el suelo sobrante del separador de agregados y se lo depositaba en un vaso de aluminio para someterlo a un secado al horno a 105°C durante 24 horas, después se pesaba en una bascula de precisión el suelo seco al horno y se obtiene su peso final. La separabilidad se evaluó calculando la diferencia entre, del peso inicial (suelo seco al aire) menos, el peso final (suelo después de simulación y seco al horno), además se tuvo en cuenta la corrección por humedad de la muestra es decir el valor de humedad presente en la muestra de suelo inicial.

Las formulas aplicadas son las siguientes:

$$CH = \frac{Pi - Pf}{Pf} * 100$$

CH: Contenido de humedad de la muestra expresado en %.

Pi: Peso inicial de la muestra de suelo.

Pf: Peso de la muestra de suelo después de secada al horno.

$$SP = \left[Si - \left(Si * \frac{CH}{100} \right) \right] - Sf$$

SP: Separabilidad expresada en gramos (g).

Si: Peso del Suelo inicial.

CH: contenido de humedad de la muestra.

Sf: Suelo Final.

USOS	DESCRIPCION
1	<p>Bosque Secundario Parte Alta; Especies Nativas.</p> <p>Esta zona durante los últimos años no ha sido intervenida porque es una zona ambientalmente importante ya que provee gran parte del agua que la utiliza la comunidad. Las especies predominantes son de tipo arbustivo como colla <i>Berberina arbórea</i> y chilca <i>Bracharis latifolia</i>, dentro de las especies forestales que se hallan en área boscosa están encino <i>Ricinus comunis</i> como especie nativa y eucalipto <i>Eucalyptus sp.</i> como especie introducida.</p>
2	<p>Lote de pastoreo con pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>), pasto zaboya (<i>Holcus lanatus</i>), pasto azul orchoro (<i>Dactylis glomerata L</i>), trébol (<i>Trifolium sp</i>) durante 10 años.</p> <p>Desde el año 2001 hasta 2010 ha permanecido como pradera; en el 2006 fue arado y rastrillado para la siembra de pastos mejorados como aubade y tetralite con avena. La fertilización se realizo con abono químico especial para pastos, se aplico cuyinaza (materia orgánica). Presenta pendientes que varían del 8% al 25%</p>
3	<p>Lote de pastoreo con pasto kikuyo <i>Pennisetum clandestinum</i>, pasto azul orchoro <i>Dactylis glomerata</i> durante 20 años</p> <p>Veinte años han permanecido como pradera, sometida en un pastoreo constante, presentando características de buena fertilidad; pendientes que varía de 15 al 35%, en este sistema se instalaran diferentes lotes productivos correspondientes al proyecto “Evaluación de prácticas de fertilización en unidades de producción integral sostenibles con papa en la zona andina del departamento de Nariño” y este corresponde a la evaluación inicial para dicho modelo.</p>
4	<p>Arreglo silvopastoril Aliso-Pastura durante 20 años.</p> <p>Cuenta con un área de 3.88 has aprox. Su paisaje es ligeramente ondulado con pendientes que varían del 5% al 30%, hace 20 años se realizaron experimentos con maíz y trigo, originándose un proceso de degradación del suelo, permitiendo así la implementación del arreglo silvopastoril de árboles dispersos de aliso (<i>Alnus acuminata</i>) en potreros de pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) en el año 2004, hace dos años se realizó una fertilización orgánica a base de cuyinaza.</p>
5	<p>Lote Rotación papa-pasto (<i>Solanum tuberosum</i>), Durante 20 años</p> <p>Cuenta con una área de 2.515 Ha aprox. en el cual se ha trabajado cultivos de papa y periodos cortos de rotación con pasto, presenta pendientes del 15% al 30%; Este lote ha sido sometido a este manejo aproximadamente hace 20 años, antes se sembraba trigo y nabo**.</p>

Cuadro 1. Descripción de los historiales de uso de suelo para evaluar la susceptibilidad a la erosión hídrica en zona de ladera en la Granja experimental de FEDEPAPA, Obonuco, municipio de Pasto 2009.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el muestreo se escogieron 5 lotes de diferentes historiales (Cuadro 1.), en cada uno se marcaron 3 parcelas, en cada parcela se tomaron 3 muestras al azar, obteniendo 9 muestras de suelo por lote. Las muestras se tamizaron obteniendo tamaños de agregado de, >2 mm, 2mm, 1mm, 0.5mm y 0.25mm, logrando 36 muestras de suelo de los diferentes agregados de cada lote, para un total de 180 sub muestras de suelo.

En la calibración del simulador tipo gotero, se aplicó la metodología de Hudson (1964), capturando 130 gotas, se midió el diámetro de las gotas y como resultado, un promedio de diámetro de 3.78 mm. A continuación se buscaron agujas hipodérmicas y se realizó el mismo procedimiento obteniendo diferentes tamaño de gota; al final se obtuvo la aguja hipodérmica No. 18, la cual tenía un promedio de gota agua de 3.82mm, aproximándose al tamaño de gota real (3.78 mm). Segundo, en la medición de la cantidad de agua que representa una gota de agua se obtuvo que, 1 gota de agua tenía una cantidad de 0.0267cm^3 . De acuerdo a la tabla de velocidades (Tab. 1) propuesta por Laws (1941), la gota de agua del simulador de lluvia tendría una velocidad aproximada de 5.63m/seg, ya que se el simulador tendría una altura de 2 m y por el diámetro de gota logrado. Los cálculos de la energía cinética de la gota de agua calibrada, nos dio como resultado que, la gota de agua tiene una energía cinética de $0.423 \times 10^{-3}\text{Jul}$.

De los análisis de laboratorio para M.O de los diferentes lotes, se obtienen lo siguiente resultados:

ANÁLISIS DE SUELO AGRICOLA	
Parámetro	Materia Orgánica
Tratamiento	(%)
T1 – Bosque	28.3
T2 – Pastura 10 años	11.8
T3 – Pasturas 20 años	10.6
T4 – Silvopastoril	9.9
T5 - Rotación papa - pasto	8.4

Tab. 2 Análisis de suelos para determinar el contenido de materia orgánica, en diferentes suelos, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto – Departamento de Nariño

En la calibración de la intensidad de lluvia en el simulador tipo gotero se baso en registros de precipitación, “VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION (mm) EN 24 HORAS” (IDEAM, 2008) lo cual arrojo en los últimos 20 años un promedio de precipitación máxima de 30 mm; de acuerdo a esas precipitaciones (30 mm : 3cm³/cm²) la cantidad de agua utilizada correspondería 15,45cm³ de agua, o sea es necesario que el simulador arroje 12 gotas/aguja en 1 minuto, logrando obtener 36 gotas/minuto; las simulaciones se las calibro para un tiempo estimado de 16 minutos, correspondiente a una lluvia fuerte de 30 mm en 24 horas.

Las simulaciones realizadas en laboratorio fueron de 180; en cada simulación se tomaron 5 gramos de suelo secos al aire, para cada tamaño de agregado; terminada la simulación se recogía el suelo sobrante para someterlo a un secado al horno, después obtenía un peso final. Posteriormente se hicieron cálculos de separabilidad obtenidos de la diferencia del peso inicial y el peso final, teniendo en cuenta la corrección de humedad de la muestra (los resultados obtenidos se expresan en gramos).

El análisis de varianza mostro diferencias significativas para la interacción entre uso y estabilidad, evidenciando comportamientos diferentes entre los tratamientos con respecto a los tamaños de agregados.

ANOVA					
F de V	SC	GL	CM	F	P -VALOR
MODELO	3.4995	4	0.8749	49.0769	0.0001*
TRATAMIENTO	3.4995	4	0.8749	49.0769	0.0001*
ERROR	0.0371	175	0.0178		
TOTAL	6.6192	179			

*Diferencias significativas al 95% de confiabilidad.

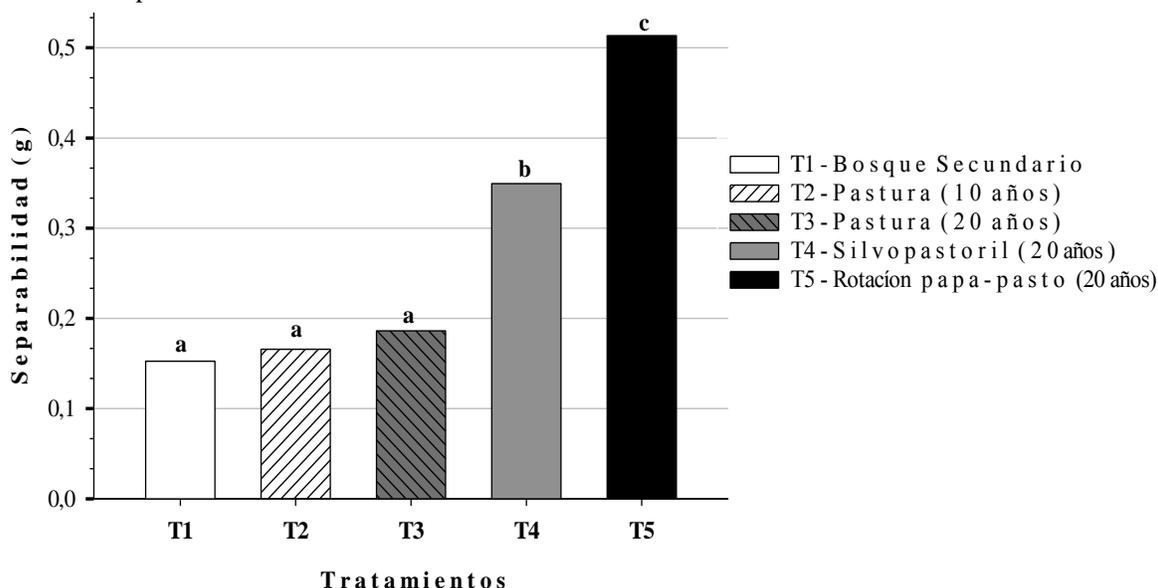
Tabla 3. Análisis de varianza para estabilidad en un *Vitric Haplustands*, evaluando la separabilidad de los agregados en los diferentes tratamientos del suelo, al impacto de gota agua de un simulador de lluvia tipo gotero, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto - Departamento deNariño.

El análisis de TUKEY mostro diferencias estadísticas significativas para la separabilidad frente a los historiales que presentan.

HSD TUKEY AL 95%				
ERROR	0.0178	GL	175	
TRATAMIENTOS	MEDIAS	N		
1	0.1525	36	a	
2	0.1658	36	a	
3	0.1861	36	a	
4	0.3494	36		b
5	0.5134	36		c

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Tabla 4. Análisis comparativo para estabilidad en un *Vitric Haplustands*, evaluando la separabilidad de los agregados en los diferentes tratamientos del suelo, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto-Departamento de Nariño.



Grafica 1. Separabilidad (g) de 5 usos del suelo en el corregimiento de Obonuco Altiplano de Pasto - Departamento de Nariño.

La prueba comparativa indicó que los tratamientos 1, 2, 3 presentaron comportamientos similares en la estabilidad estructural de los agregados, mientras que los tratamientos 4 y 5 presentaron comportamiento totalmente diferente al resto de historiales con alta separabilidad, como lo mostro las medias de la prueba comparación de la grafica 1. El bosque secundario es tomado para la experimentación debido a que no existe información de su estabilidad estructura y a demás es un referente del estado de estabilidad estructural para los diferentes tratamientos evaluado, ya que el bosque presenta un suelo con características tanto físicas y biológicas ideales y está en condiciones óptimas.

Los comportamientos en la estabilidad estructural de los agregados en los T4 y T5, pueden estar asociadas a la excesiva labranza y/o labores agrícolas realizadas en los lotes, porque estaría causando cierta “fragilidad” (perdida de materia orgánica, fuerza de cohesión entre agregados, capacidad de retención de agua, cambios físicos etc.) de los agregados al impacto causado por las gotas de lluvia. Kvolek, Claudio Miguel (2003) aclara que la calidad y cantidad de partículas desprendidas está gobernada por las características de cada sistema, donde la estabilidad estructural de los agregados es la condicionante principal de estos desprendimientos.

Por lo contrario el bosque secundario (T1) y las pasturas (T2 y T3) mostro mayor resistencia a la separabilidad, debido a la mayor presencia de materia orgánica (Tab. 2) la cual actúa como, material aglutinante y/o medio para aumentar la presencia de las hifas de los hongos y las raíces que contribuyen a mantener unidos de forma mecánica los macroagregados. Tisdall & Oades, (1982) afirman que las raíces también participan como agentes ligantes temporales, en conjunción con las hifas. Las raíces no sólo suplen al suelo de residuos orgánicos descompuestos sino que también actúa como soporte de la población microbiana en la rizósfera, especialmente las raíces de algunas hierbas.

El manejo inadecuado del suelo lleva a una reducción del contenido de materia orgánica del suelo, teniendo como consecuencia alteraciones en su densidad, en la capacidad de retención de agua y en la estabilidad de los agregados, que contribuyen a la pérdida de su calidad y de la estabilidad de su estructura. (FAO, 2000).

De acuerdo con Gómez (1979), la cobertura simple o multiestrata y las prácticas de conservación de los suelos, se comportan como intermediarios que atemperan y normalizan las relaciones entre la lluvia y el suelo. Resende (1995), indica que uno de los papeles importantes de la vegetación, es la de reducir el impacto directo de las gotas de lluvia, produciendo una dispersión de la energía cinética de estas, evitando así, una mayor disgregación del suelo.

El análisis estadístico aplicado en los diferentes tamaños de agregados y los diferentes tratamientos, mostro diferencias significativas en todos los tamaños de agregados, indicando que cada agregado tiene sus propias características, resistencia y susceptibilidades al impacto de gota de las lluvia.

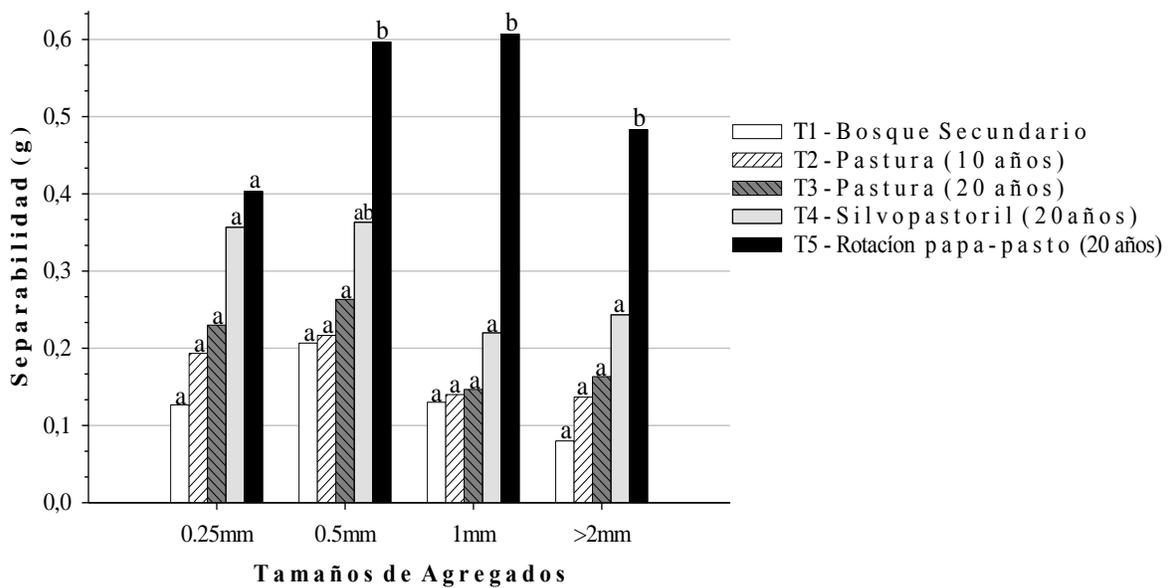
ANOVA							
		F de v	SC	GL	CM	F	P – VALOR
T1	2 mm	MODELO	0.8777	4	0.2194	17.3029	0.0001*
T2		USO	0.8775	4	0.2194	17.3029	0.0004*
T3		ERROR	0.5072	40	0.0127		
T4		TOTAL	1.3847	44			
T5							
T1	1 mm	MODELO	1.2740	4	0.3185	25.2716	0.0001*
T2		USO	1.2740	4	0.3185	25.2716	0.0001*
T3		ERROR	0.5041	40	0.0093		
T4		TOTAL	1.7781	44			
T5							
T1	0.5 mm	MODELO	1.0075	4	0.2519	16.6492	0.0001*
T2		USO	1.0075	4	0.2519	16.6492	0.0001*
T3		ERROR	0.6051	40	0.0151		
T4		TOTAL	1.6126	44			
T5							
T1	0.25 mm	MODELO	0.4017	4	0.1004	5.4699	0.0013*
T2		USO	0.4017	4	0.1004	5.4699	0.0013*
T3		ERROR	0.7944	40	0.0184		
T4		TOTAL	1.1361	44			
T5							

* Diferencias significativas al 95% de confiabilidad.

Tabla 5. Análisis de varianza para estabilidad en un *Vitric Haplustands*, evaluando la separabilidad en los agregados del suelo, a la gota de agua de un simulador de lluvia tipo gotero, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto – Departamento de Nariño.

El análisis TUKEY mostro diferencias estadísticas significativas al comparar los la separabilidad en cada uno de los agregados de los diferentes historiales de uso del suelo.

HSD TUKEY AL 95%				
ERROR	0.0134	GL	40	
TRATAMIENTOS	5	N	9	
MEDIAS				
Tratamientos	2 mm	1mm	0,5 mm	0,25 mm
	Separabilidad	Separabilidad	Separabilidad	Separabilidad
1	0,083	0,130	0,206	0,126
2	0,136	0,140	0,216	0,193
3	0,163	0,146	0,263	0,230
4	0,243	0,220	0,363	0,356
5	0,483	0,606	0,596	0,403

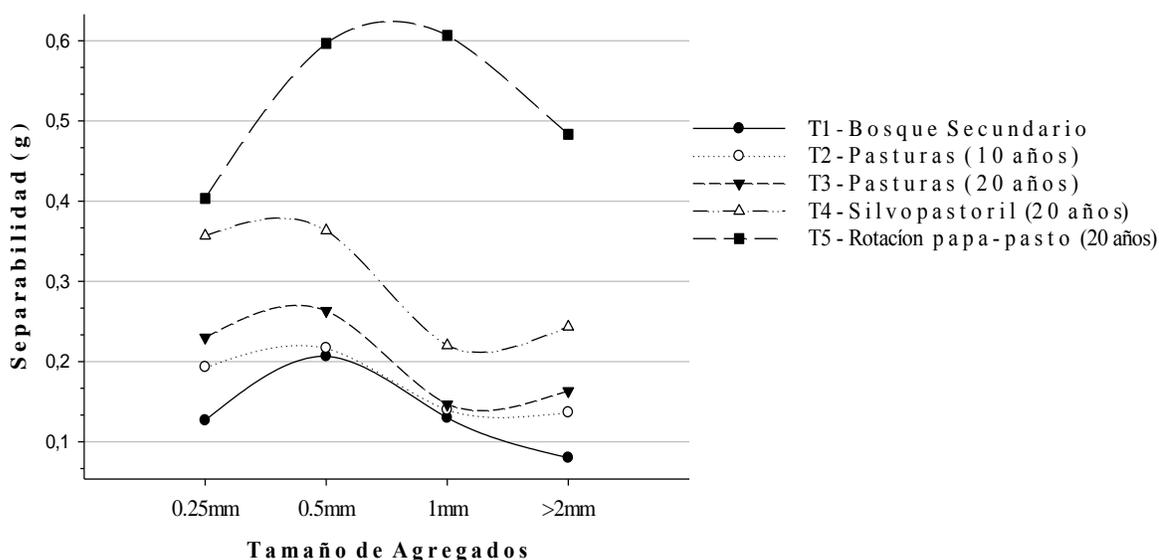


Grafica 2. Análisis comparativo para estabilidad en un *Vitric Haplustands*, evaluando la separabilidad de los diferentes agregados del suelo, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto – Departamento de Nariño.

En la grafica 2. el T2, T3 y T4 se comportan estadísticamente igual al T1 a pesar que se observan ciertas diferencias en sus tendencias, mostrando medias relativamente diferentes, debido a una recuperación de la estabilidad ó afectación por los manejos que ha tenido. En el T5 se observa claramente la inestabilidad, causada por el manejo al cual ha sido sometido, con altos valores de separabilidad al impacto de gotas de lluvia en los agregados. Teniendo en cuenta que los macroagregados son agrupaciones de microagregados con un tamaño superior a 0.25mm, estos poseen diferentes tipos de agentes pegantes entre los que están: los materiales orgánicos “jóvenes” fácilmente degradables por los microorganismos (polisacáridos, péptidos, ácidos polihidroxicarboxílicos, exudados de raíces y hongos, ácidos fúlvicos, etc.). Los agentes orgánicos ligantes del suelo están involucrados en la estabilidad de los agregados, estos están clasificados por grupos, basados en la edad del agregado según la materia orgánica y no en las proporciones de los componentes químicos. La variabilidad de los agentes ligantes determina la edad, tamaño y estabilidad de los agregados. (Vera, 1995). Una proporción alta de microagregados se puede considerar como indicador de degradación estructural del suelo Boersma y Kooistra, (1994).

La excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada, lleva a la rotura de los agregados, favoreciendo la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas

(erosión), (FAO, 2000). Roth y Eggert (1994) los agregados grandes presentarían un efecto protector debido a que necesitan más tiempo y energía para ser divididos Hernández et al. (1998) estudiaron varios sistemas de manejo de suelos, obteniendo como resultado que el suelo tratado continuamente bajo la forma convencional tuvo menor porcentaje de macro-agregados estables. Según Kirkby Y Morgan (1984) cuando la proporción de agregados de 0.5 mm es alta, mayor será la erodabilidad del suelo.



Grafica 3. Comportamiento de la Separabilidad de Agregados del suelo por Tratamiento, corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto – Departamento de Nariño.

De acuerdo a los resultados de la grafica 3. se nota que el bosque (T1) tiene una curva de comportamiento “normal” mientras que los tratamientos T2, T3 y T4 cambian sutilmente su curva de comportamiento debido a los agregados >2mm, los cuales están siendo más susceptibles al impacto de las gotas de lluvia, lo cual provoca mayor separabilidad; a demás se observa una ligera distancia entre curvas de cada una de los tratamientos, mostrando que a pesar que la curva de comportamiento se mantiene, la susceptibilidad aumenta, provocando mayor separabilidad o sea mayor erodabilidad a fenómenos hídricos y por lo tanto mayores riesgos erosivos. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede afirmar que el inadecuado manejo del suelo y/o la remoción de cobertura vegetal para la implementación de cultivos agrícolas en zonas vulnerables para estos tipos de suelos, son la

principal causa de la pérdida de la estabilidad en los agregados, dejando al suelo más susceptible a cualquier agente erosivo.

Según el Manual de Conservación de Suelos de la FAO (2000) La materia orgánica favorece la formación de una estructura estable de los agregados en el suelo por medio de la estrecha asociación de las arcillas con la materia orgánica. Una cobertura sobre el suelo lo protege de la fuerza de las gotas de lluvia y disminuye la separación de las partículas de los agregados de suelo, que es el primer paso en el proceso de erosión hídrica.

Todas las actividades agrícolas tienden a incrementar la erosión, por medio de la labranza el hombre remueve y destruye la capa del suelo aumentando la erodabilidad; cuando la vegetación se aclara y la tierra está más expuesta, aumentan los procesos erosivos pluviales ya que hay menos vegetación que puede absorber la energía de caída de la lluvia y que reduzca la velocidad de escorrentía (Hudson, 1995).

El manejo inadecuado del suelo lleva a una reducción del contenido de materia orgánica, teniendo como consecuencia alteraciones en su densidad, en la capacidad de retención de agua y en la estabilidad de los agregados, que contribuyen a la paridad de su calidad y de la estabilidad de su estructura (FAO, 2000)

La agregación del suelo, es un fenómeno dinámico que afecta la retención y movimiento del agua, el intercambio de gases y propiedades químicas, así como la germinación, crecimiento de las raíces y la erosión. El desarrollo de la estabilidad de agregados depende, de la naturaleza y del contenido de materia orgánica, CAPRIEL, P., BECK, T., BORCHERT, H and HARTER, D. (1990).

CONCLUSIONES

El sistema rotación papa - pasto trabajado durante 20 años, presentó mayores valores de separabilidad en sus agregados, frente a los demás usos evaluados, con una pérdida promedia de 0,51g lo cual sugiere mayor riesgo de erosión hídrica. Los sistemas con mejores comportamiento en cuanto a estabilidad estructural fueron el sistema bosque secundario, pasturas 10 años y pasturas 20 años, con los menores valores de separabilidad en sus agregados.

El sistema silvopastoril presenta un comportamiento de estabilidad diferente, ya que sus valores de separabilidad son relativamente mayores que las pasturas, indicando mayor afectación en el suelo, debido a los diferentes manejos que ha tenido.

Entre los agregados evaluados, los tamaños de 0,5mm y 1mm son más inestables y frágiles a las prácticas agrícolas, provocando mayor erodabilidad a fenómenos hídricos, mostrando la importancia de su papel en la sostenibilidad del sistema y por lo tanto convirtiéndose así en un indicador del estado físico del suelo.

Según los resultados, la técnica de laboratorio utilizada en la caracterización de los suelos por su erodabilidad, sugieren que el método tiene valides para identificar diferencias en la estabilidad estructural de los agregados para suelos tropicales.

AGRADECIMIENTOS

Presidente de Tesis. Dr. Jesús Castillo Franco. I. A. MSc. Ph.D Suelos.

Jurado Delegado. Jairo Hernán Mosquera Guerrero Ing. Agr. M.Sc.

Jorge Vélez Lozano Ing. Agroforestal. M.Sc. Suelos.

Al proyecto “Desarrollo y Evaluación de Prácticas de Fertilización en Unidades Productivas Integrales Sostenibles con Papa en la Zona Andina del Departamento de Nariño” con el apoyo del Ministerio de Agricultura, Universidad de Nariño y la Federación Colombiana de productores de papa FEDEPAPA Regional Nariño.

Facultad Ciencias Agrícolas, Programa Ingeniería Agroforestal.

Universidad de Nariño.

Pasto - Colombia.

2011

BIBLIOGRAFIA

AMÉZQUITA, E.; LONDOÑO, H. 1997. La infiltración del agua en algunos suelos de los Llanos Orientales y sus implicaciones en el uso y manejo. *Revista suelos ecuatoriales*. Vol. 27: p163–168.

BOESMA, O.H, KOOISTRA, M.J. 1994. Differences in soil structure of still loam *Typic Fluvaquents under various agricultural management practices*. *Agric Ecosyst Environ* 51: 21-42

CAPRIEL, P., BECK, T., BORCHERT, H and HARTER, D. 1990. Relationship between soil aliphatic fraction extracted with supercritical hexane, soil microbial biomass, and soil aggregate stability *soil Sci, Soc. Am. J.* 54: 415 - 420

CASTILLO, F. J. A. 1994. Determinación del Índice de erodabilidad (K) en dos suelos del Departamento del Cauca, Colombia. Tesis. MSc. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira. 206 p.

DINEL, H., LEVESQUE, M., JUMBU, P. and RIGHI, D. 1992. Microbial activity and lang – chain aliphatic in the formation of stable soil aggregates. Soil Sci. Soc. Am. J. 56(5): 1455 - 1463

FAO 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Consultado en: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>

HERNÁNDEZ R, HERNANDEZ C. Efectos de la siembra directa y la labranza convencional en la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de ultisoles en el estado Guarico- Venezuela. Universidad Central de Venezuela. 1998.

HUDSON, N. 1982. Conservación de suelos. Riverté. S.A. Barcelona. (España). 335 p.

HUDOSN, N. 1995 Soil conservation. 3.ed. United States, Iowa State University Press, 1995. 391p.

IGAC. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño. IGAC. Tomo III 2004. 72p.

KIRKBY, M.J.; R.P.C. Morgan, 1994. Erosión de suelos. Primera edición. México, Linusa S.A. 375P.

KVOLEK, Claudio Miguel. Cantidad y calidad de sedimento bajo lluvia simulada en un suelo Vertisol con modificaciones en el tamaño de los agregados superficiales. Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires. 2003

LAWS, J.O. Measurements of the fall velocity of water drops and raindrops. Transations, Am Geophys. Union, 22. 709 – 721pag. 1941

MEZA E., GEISSERT D. Estabilidad de Estructura en Andisoles de Uso forestal y cultivado. Universidad Autonoma Chapingo. Mexico. 2006.

MULLER, S.K., RUPPENTHAK, M. y CASTILLO, J.A. 1994. Conservación de suelos en yuca. Memorias de la primera reunión de agroecología y producción sostenible en San Gil (Santander Colombia). Documento de trabajo No. 135. Adrián Maitre. 195-228

NAVIA, J; RODRÍGUEZ, S y NAVIA, S. 2008. Evaluación del manejo de los residuos de papa (richie) y algunas especies forrajeras arbustivas como suplemento animal para los bovinos de leche en el trópico de altura de Nariño. Proyectos de Inversión. Asociación Hortifructícola de Colombia (ASOHOFRUCOL). Pasto. 46p

OLMOS, E. y MONTENEGRO, H. 1987. Inventario de los problemas de la erosión y degradación de los suelos de Colombia. IN: Congreso Colombiano de la ciencia del suelo, 4 y Coloquio la degradación de los suelos en Colombia, 9. Neiva (Colombia), 18-21 de agosto de 1987. Resúmenes. Neiva, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p.23.

ROTH, CH.; EGGERT, T., 1994 Mechanism of aggregate breakdown involved in surface sealing, runoff generation and sediment concentration on loess soils Soil & Tillage Research 32: 253-268.

SUAREZ de CASTRO, I. 1982. Informe técnico sobre causas y control de la erosión en el área del corregimiento de Mondomo. CVC. Cali. 15p

TISDALL, J.; OADES, J. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. En: Journal of Soil Science Vol33 p141-163.

VERA A. Recuperación de suelos fatigados en agricultura Intensiva. Dpto. Producción Agraria (Área Edafología y Química Agrícola) - ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena. 1995.

VOLVERÁS, B. “Efecto del tiempo de uso en las condiciones físicas del suelo andino”. Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar el título de Máster en suelos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá – Colombia. 2005. 12p.

WISHMEIER, W.H. and SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion. A guide to conservation planning United States, Department of Agriculture. Agricultural handbook. No. 282. 1969