

Dinámica de agregados y su afectación por la deforestación de la selva nublada y su reemplazo por pastizal o cultivo

Dynamics of aggregates and their affectation by cloudy forest deforestation and its replacement by pasture or cultivates

MARIA GARCÍA¹,
OMAIRA MÁRQUEZ²
y ROBERTO LÓPEZ³

Universidad de Los Andes,
1 Núcleo Universitario Rafael Rangel, Trujillo, Venezuela
2 Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Mérida, Venezuela,
E-mail: omarquez@ula.ve
3 CIDIAT, Mérida, Venezuela.

Recibido: 13-11-09 / Aceptado: 25-02-10

Resumen

Se estudio la dinámica de los agregados en suelos bajo selva nublada y su afectación debido a cambios en el uso de la tierra. Se usó como estado de referencia el uso de la tierra bajo selva nublada natural (SN) y se comparó con suelos bajo pastizal (PA) y bajo cultivo de papa (CU). Se tomaron muestras de los horizontes superficiales para determinar la distribución de los agregados del suelo, mediante la cuantificación de agregados estables e inestables. Los índices del modelo dinámica de agregados del suelo (DAS) permitieron monitorear los procesos de agregación, disrupción y desestabilización debido a los cambios de uso de selva nublada. La cantidad de macroagregados estables grandes (> 2000 μm) fue mayor en la SN (90%), con respecto a PA (80%), y CU (62%). La mayor desestabilización en los suelos estudiados se produce cuando la SN fue remplazada por CU, la cual afectó un 31% en los macroagregados estables grandes, seguida de un 12% en la sustitución por PA. El proceso de disrupción resultó ser el proceso dominante cuando la SN fue sustituida por CU, produciéndose una desagregación neta del 19%. Sin embargo, cuando el uso fue sustituido por PA, dominó el proceso de agregación con un valor neto del 2%.

Palabras clave: agregados, desestabilización, estabilización, agregados estables, agregados inestables.

Abstract

In this study we evaluated the stability of aggregates to water and the dynamic of aggregates in soils under cloudy forest. We study the affectation of these soils through changes in the land use due to deforestation. We took as a reference state the soil under natural cloudy forest (SN) and compared with soils under pasture (PA) and cultivated potato (CU). The aggregate distribution by size and stability was evaluated from soil samples taken from the surface horizon. The quantification of the indicators defined in the dynamics of aggregates in soils (SAD) allowed the monitoring of the dynamics of soil aggregates. We were able to assess the aggregation, disruption, stabilization and destabilization to evaluate the affectation due to changes in use of cloudy forest. The large stable macroaggregates (> 2000 μm) was higher in the SN (90%), with respect to PA (80%) and CU (62%). The mayor destabilization in the soils studied in the substitution occurs when the SN was replaced by CU, which affected 31% in stable large macroaggregates followed by a 12% replacement by PA. The disruption process proved to be the dominant process when the SN was replaced by CU, resulting in a net disruption of 19% of the aggregates. However, when the use was replaced by PA, dominated the aggregation process with a net value of 2%.

Key words: aggregates, destabilization, stabilization, stable aggregates, unstable aggregates.

1. Introducción

En sistemas forestales las especies pueden diferir en la habilidad para influenciar la agregación del suelo. La materia orgánica es incorporada al suelo principalmente por deposición de residuos orgánicos de materia vegetal y por raíces. El tipo de raíces producidas por diferentes especies, su densidad y arquitectura pueden influir en la distribución de agregados en el suelo (Miller y Jastrow, 1990). La

importancia que tiene el estudio de los agregados en el suelo es que los macro y micro agregados del suelo promueven, estabilizan y secuestran materia orgánica (Six *et al.*, 1998). La positiva interrelación entre la materia orgánica y la agregación del suelo tiene beneficios importantes en la infiltración, conservación de la materia orgánica y nutrientes del suelo (Lal, 1993; Hernández y López, 2002).

Oades y Waters (1991), establecieron un orden jerárquico en la estructura de los suelos

la cual presenta macroagregados ($> 2500 \mu\text{m}$) y microagregados ($< 2500 \mu\text{m}$). La estabilidad de los primeros varía con los cambios de la materia orgánica y por las prácticas de manejo, debido a que los agregados son estabilizados transitoriamente por agentes como raíces, hifas y polisacáridos derivados de plantas y microorganismos (Bronick y Lal, 2005).

Los pastos, por su sistema de enraizamiento, han sido considerados por Williams y Cooke (1961), como más efectivos que la aplicación de abono orgánico, para la estructuración, composición de los agregados y su resistencia al tratamiento mecánico de las tierras. Haynes (2000), al evaluar la relación entre la estabilidad de los agregados y los constituyentes orgánicos, sugiere a los carbohidratos como la fracción orgánica más importante en la formación de agregados estables, de acuerdo con la alta correlación encontrada entre ambas.

Márquez *et al.* (2004), desarrollaron un protocolo teórico-práctico que permite determinar la distribución de agregados por tamaño, logrando separar la cantidad de macroagregados por su tamaño y estabilidad. El uso de este nuevo protocolo permite determinar dos nuevos índices para estudiar la estabilidad de agregados: el índice de estabilidad total de agregados (SAI) y el índice de estabilidad de macroagregados (SMAI). Márquez *et al.* (2004), reportaron valores altos de estos índices en suelos bajo pasto (SAI = 74 y SMAI = 56), seguido por bosques riparios (SAI = 55 y SMAI = 37), y los valores más bajos fueron encontrados en suelos bajo cultivo (SAI = 36 y SMAI = 18). Márquez (2001) desarrolló un modelo teórico conceptual que integra los procesos involucrados en la dinámica de los agregados del suelo (DAS). Este modelo propone una serie de índices que permiten monitorear la dinámica de agregados del suelo valorando los procesos de agregación, disrupción y desestabilización. Para ilustrar las potencialidades del modelo Márquez *et al.* (2005) uso datos reportados por Cambardella y Elliot (1993), en el cual se estudio el efecto que ha tenido diferentes prácticas de labranza en comparación con el pastizal nativo no intervenido, en un periodo de 30 años sobre suelos clasificados como Pachic Haplustoll, limoso fino, mixta, mésica. El modelo permitió cuantificar que el cambio de pastizal a cultivo, bajo diferentes modalidades de manejo, causó la

desestabilización de 91% de los macroagregados estables y 27% de los macroagregados pequeños estables bajo el uso de no labranza. Mientras que bajo labranza convencional la desestabilización de los macroagregados estables grandes fue de 98% y 57% de los macroagregados pequeño.

El objetivo de este trabajo es estudiar la dinámica de agregados en suelos bajo SN y su reemplazo por suelos bajo PA y bajo CU en los Andes de Venezuela, usando el modelo DAS.

2. Materiales y Métodos

2.1 Selección del área de estudio y tipo de muestreo

El estudio fue llevado a cabo en la Estación Experimental San Eusebio (EESE), perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, sector de La Carbonera del municipio Andrés Bello del estado Mérida, ubicada entre $08^{\circ} 37' 36'' \text{W}$ y $08^{\circ} 39' 39'' \text{N}$. La zona presenta una precipitación media anual de 1463 mm y temperatura media anual de $12,6^{\circ}\text{C}$. La Estación Experimental San Eusebio ocupa una superficie de algo más de 368 ha, con cotas de terreno que oscilan entre los 2.200 y 2.600 msnm. Gran parte de la Estación se encuentra sobre materiales de la formación Colón (Cretáceo), donde la existencia de pizarras arcillosas de color negro, con un espesor que puede variar entre 500-600 m, origina, a través de su rápida meteorización al ser expuesto a la acción del clima, un material arcilloso, pardo amarillento (Valcarcel, 1982). Esta formación aflora con frecuencia en toda la cuenca del Lago de Maracaibo, presentando un relieve típico de colinas redondeadas, característica que se observa en los terrenos de la Estación Experimental San Eusebio (Márquez, 1988). De la superficie total (368 ha) que constituye la EESE, ocho (8) corresponden a potreros o vegetación menor, las restantes 360 ha están cubiertas por vegetación boscosa. Valcarcel (1982), afirma que en la EESE existen dos tipos de bosques: el primario o climácico y el bosque secundario. La estructura del bosque presenta tres estratos. Es un bosque siempre verde, mixto irregular, densamente cerrado, muy rico en las especies de la familias Laureaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae, y endémicamente la Podocarpaceae.

Generalmente, casi todos los árboles están cargados de epifitas como Bromeliáceas, musgos, líquenes y Orquidáceas. Se ha determinado la edad de algunos árboles de *Decusocarpus rospigliosii* (Pilg.) de Laub. con más de 500 años. Es interesante resaltar que esta formación ecológica se encuentra en un estado de equilibrio, poco dinámico, en la que la producción de nueva fitomasa es equivalente al depósito y descomposición de restos vegetales.

Los suelos de la EESE se caracterizan por su alto contenido de arcilla (40-60%) presentando como mineral arcilloso predominante caolinita; en consecuencia, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es relativamente baja, oscilando en el perfil entre 12 y 18 cmol/kg de suelo (Grimm y Fassbender, 1981). Debido a las condiciones del material originario arcilloso pre-meteorizado a las condiciones climáticas que propician altos grados de humedad del suelo (precipitación media, humedad relativa alta y baja evapotranspiración) y a la vegetación predominante, los suelos de la EESE son profundos, ácidos y de moderado a alto contenido de materia orgánica (Varcancel, 1982; Grimm y Fassbender, 1981), en sitios de pendiente media a pronunciada clasificaron los suelos estudiados como: Humitropepts (Oxic Dystrudept, Soil Survey Staff, 2006), en los sitios de pendiente media; suelos Aquic Humitropept (Aquic Dystrudept, Soil Survey Staff, 2006), y en superficies casi llanas, suelos con hidromorfismo marcado clasificándose como Typic Tropaquept (Typic Humaquept, Soil Survey Staff, 2006).

En este estudio se seleccionaron tres áreas: a) la primera formada por vegetación primaria a la cual denominamos selva nublada natural; b) la segunda, un área destinada pastizal; c) la tercera, un área destinada a cultivo de papa. Los suelos de las tres son clasificados como Aquic dystrudept y están localizados en pendientes (8,5%). En las áreas seleccionadas o tratamientos se establecieron diez (10) réplicas de forma aleatoria. Cada réplica consistió en una parcela de 10 x 10 m dividida en veinticinco (25) subparcelas de 4 m² (2 x 2 m). De estas 25 subparcelas se seleccionaron al azar cinco (5) y en el centro de cada una de ellas se tomó una (1) muestra del horizonte superficial a una profundidad definida de 0 a 20 cm. La muestra compuesta esta constituida por las 5 subparcelas de cada parcela.

2.2 Determinación de agregados del suelo

De cada muestra compuesta se tomaron dos submuestras de 100 g cada una, para ser usadas en la determinación de la distribución de agregados por tamaño, lo cual se hizo utilizando el protocolo publicado por Márquez *et al.* (2004), que consiste en la utilización de tres tratamientos: a) Tratamiento seco, b) Tratamiento húmedo, c) Tratamiento subsiguiente seco. De acuerdo con esta metodología, los agregados son categorizados en términos de su tamaño y estabilidad al agua, siendo estos designados de la siguiente manera (Cuadro 1):

1. Los agregados de suelo con diámetro > 250 μm son designados como macroagregados.
2. Los macroagregados son categorizados como macroagregados grandes cuando sus diámetros son > 2000 μm (Fracción 1) y macroagregados pequeños cuando sus diámetros están entre el rango 250 y 2000 μm (Fracción 2).
3. Los macroagregados son también categorizados en términos de su resistencia al agua. Macroagregados que sobreviven al agua se clasifican como macroagregados estables y los que no sobreviven al agua son llamados macroagregados inestables.
4. Agregados de suelo con diámetros que están dentro del rango 53 y 250 μm (Fracción 3).
5. La fracción mineral (limo + arcilla) con diámetros < 53 μm (Fracción 4).

2.3 Dinámica de agregados del suelo (DAS)

Para estudiar la dinámica de los agregados del suelo se utilizó el modelo teórico conceptual DAS desarrollado por Márquez (2001); Márquez *et al.* (2005) mostrado en figura 1. El mismo permitió hacer las comparaciones entre los dos diferentes usos de la tierra seleccionados en este estudio. Se tomó como estado de referencia el suelo bajo selva nublada para compararlo con los suelos bajo pasto. Para realizar las comparaciones se tomaron los valores de los agregados estables e inestables de la distribución de la estabilidad por tamaño de fracción.

Este modelo estudia la dinámica de agregados en términos de los procesos que deben ocurrir para conducir el estado de un sistema de referencia hacia un nuevo estado. Los tres procesos básicos

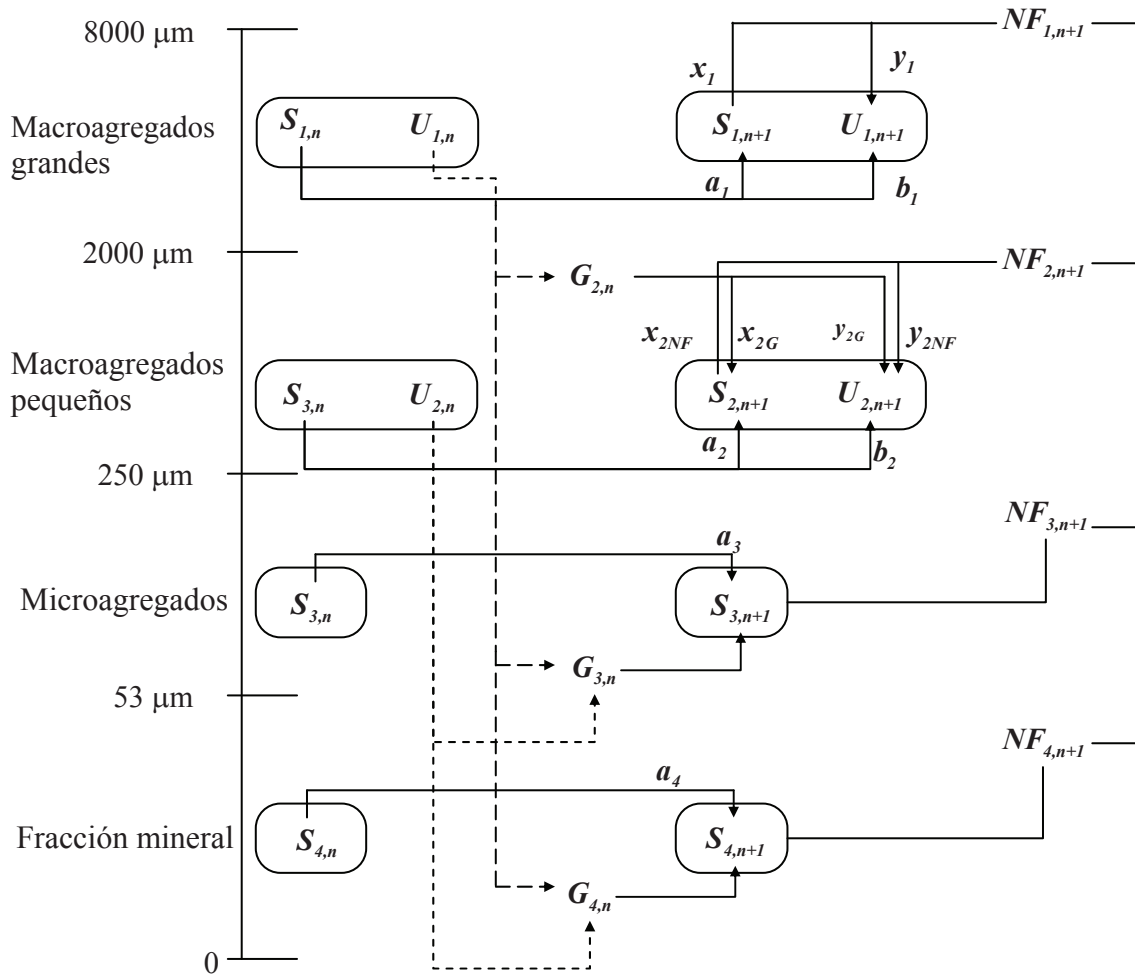


Figura 1. Movimiento de la dinámica de agregados en el suelo usando el modelo de la agregados (DAS). (S = agregados estables; U = agregados inestables; NF = flujo neto; G = ganancias; x = nuevos macroagregados estables cuando $NF > 0$; y = nuevos macroagregados inestables cuando $NF > 0$; a = macroagregados estables que permanecen como estables y b = macroagregados estables que se desestabilizan; n = estado de referencia; n+1 = nuevo estado).

que caracterizan la dinámica de agregados del suelo son:

2.3.1 Disrupción

Ocurre cuando los macroagregados inestables ($> 250 \mu\text{m}$) se pueden fragmentar durante una perturbación y como resultado sus unidades constituyentes son redistribuidas en fracciones de tamaño más pequeño;

2.3.2 Estabilización/desestabilización

Cuando los macroagregados estables ($> 250 \mu\text{m}$) permanecen en la misma fracción mientras que el sistema evoluciona del estado de referencia al nuevo estado;

2.3.3 Agregación

Cuando pequeñas unidades de agregados (partículas minerales, microagregados y/o macroagregados pequeños) pueden formar macroagregados grandes. Para evaluar la agregación se utiliza el “flujo-neto” a cada fracción. El flujo-neto representa el flujo neto de agregados incorporándose o desincorporándose de una fracción (Figura 1).

El análisis estadístico utilizado fue el análisis de varianza. Para la separación entre medias se utilizó el test de diferencia mínima significativa (DMS). Todos los resultados fueron considerados significativamente diferente a $P < 0,05$. El paquete estadístico usado fue el SAS (2000).

2.4 Evaluación de la dinámica de agregados

Para realizar el monitoreo de la dinámica de agregados se emplearon los índices desarrollados por Márquez (2001), los cuales se definen a continuación:

2.4.1 Índice de disrupción de agregados (DI)

Es la cantidad relativa de macroagregados (> 250µm) que son inestables con respecto a la cantidad total de muestra de suelo, tal como se expresa en la ecuación 1.

$$DI = \frac{U_1 + U_2}{T} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

U_1 = cantidad de macroagregados inestables grandes (> 2000 µm)

U_2 = cantidad de macroagregados inestables pequeños (250-2000 µm)

T = cantidad total de agregados

2.4.2 Índice de formación de macroagregados estables grandes (FIS_{1,n+1}) e Índice de formación de macroagregados inestables grandes (FIU_{1,n+1})

FIS_{1,n+1} es definido como la suma relativa de macroagregados estables grandes que resultan del proceso de agregación (Ecuación 2); y FIU_{1,n+1}, la suma relativa de macroagregados inestables grandes que resultan del proceso de desagregación (Ecuación 3).

$$FIS_{1,n+1} = \frac{x_1}{NF_{1,n+1}} \quad (\text{Ec.2})$$

$$FIU_{1,n+1} = \frac{y_1}{NF_{1,n+1}} \quad \text{o} \quad FIU_{1,n+1} = 1 - FIS_{1,n+1} \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

x_1 = cantidad de nuevos macroagregados estables grandes que se forman en la fracción 1 del nuevo estado

y_1 = cantidad de nuevos macroagregados inestables que se forman en la fracción 1 del nuevo estado

$NF_{1,n+1}$ = es el flujo neto de los macroagregados grandes (> 2000 µm).

2.4.3 Índice de desestabilización de macroagregados estables grandes (DSM_{1,n+1}) e Índice de estabilización de macroagregados grandes (SSM_{1,n+1})

DSM_{1,n+1} es definido como la cantidad relativa de macroagregados estables de la fracción 1 del estado de referencia que pasan a ser inestables en el nuevo estado (Ecuación 4), por otro lado, SSM_{1,n+1} es definido como la cantidad relativa de macroagregados estables de la fracción 1 en el estado de referencia que permanecen estables en la misma fracción en el nuevo estado (Ecuación 5).

$$DSM_{1,n+1} = \frac{b_{1,n+1}}{S_{1,n}} \quad (\text{Ec.4})$$

$$SSM_{1,n+1} = \frac{a_{1,n+1}}{S_{1,n}} \quad \text{o} \quad SSM_{1,n+1} = 1 - DSM_{1,n+1} \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

$b_{1,n+1}$ = cantidad de macroagregados que permanecen como inestables en el nuevo estado (fracción 1)

$a_{1,n+1}$ = cantidad de macroagregados que permanecen como estables en el nuevo estado (fracción 1)

$S_{1,n}$ = cantidad total de agregados estables de la fracción 1 en el estado de referencia

2.4.4 Índice de formación de macroagregados estables pequeños (FIS_{2,n+1}) e Índice de formación de macroagregados inestables pequeños (FIU_{2,n+1})

FIS_{2,n+1} es definido como la cantidad relativa de macroagregados estables pequeños que resultan de la disrupción y agregación (Ecuación 6), y FIU_{2,n+1} como la cantidad de macroagregados inestables pequeños que resultan del proceso de desagregación (Ecuación 7).

$$FIS_{2,n+1} = \frac{x_{2,n+1}}{(G_{2,n} + NF_{2,n+1})} \quad (\text{Ec.6})$$

$$FIU_{2,n+1} = \frac{y_{2,n+1}}{(G_{2,n} + NF_{2,n+1})} \quad \text{o} \quad FIU_{2,n+1} = 1 - FIS_{2,n+1} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

$x_{2,n+1}$ = cantidad de nuevos macroagregados estables pequeños que se forman en la fracción 2 del nuevo estado

$y_{2,n+1}$ = cantidad de nuevos macroagregados inestables pequeños que se forman en la fracción 2 del nuevo estado

$G_{2,n}$ = cantidad de ganancias que obtiene la fracción 2 del nuevo estado procedente de la disrupción de macroagregados inestables grandes (fracción 1) del estado de referencia

$NF_{2,n+1}$ = flujo neto de los macroagregados pequeños (250-2000 μm)

2.4.5 Índice para la desestabilización de macroagregados pequeños ($DSM_{2,n+1}$) e Índice de estabilización de macroagregados estables pequeños ($SSM_{2,n+1}$)

$DSM_{2,n+1}$ es la cantidad relativa de macroagregados pequeños que permanecen en la fracción 2, que son estables en estado de referencia y se vuelven inestables en el nuevo estado (Ecuación 8); mientras que $SSM_{2,n+1}$ es la cantidad relativa de macroagregados estables pequeños que permanecen en la fracción 2, que son estables en el estado de referencia y permanecen estables en el nuevo estado (Ecuación 9).

$$DSM_{2,n+1} = \frac{b_{2,n+1}}{S_{2,n}} \quad (\text{Ec.8})$$

$$SSM_{2,n+1} = \frac{a_{2,n+1}}{S_{2,n}} \quad \text{o} \quad SSM_{2,n+1} = 1 - DSM_{2,n+1} \quad (\text{Ec.9})$$

Donde:

$b_{2,n+1}$ = cantidad de macroagregados que permanecen como inestables en el nuevo estado (fracción 2)

$a_{2,n+1}$ = cantidad de macroagregados que permanecen como estables en el nuevo estado (fracción 2)

$S_{2,n}$ = cantidad total de agregados estables de la fracción 2 en el estado de referencia

2.4.6 Índice de agregación-disrupción (ADI)

El ADI permite evaluar cualitativa y cuantitativamente la dinámica que conduce al sistema de suelo del estado de referencia al nuevo estado, el mismo se calcula usando la Ecuación 10. Cualitativamente, el signo del índice ADI señala si el proceso dominante que conduce al nuevo estado del sistema es la agregación o la disrupción, o ninguno de ellos; si el signo es positivo (+), domina el proceso de agregación, si es negativo (-) domina el proceso de disrupción y si es cero (0), no domina ningún proceso. Cuantitativamente, el índice ADI es un número que está entre -1 y 1 ($-1 \leq ADI \leq 1$) y permite determinar la cantidad relativa

de agregados que resultan de cualquiera de los dos procesos dominantes agregación y/o disrupción.

$$SSM_{2,n+1} = \frac{a_{2,n+1}}{S_{2,n}} \quad \text{o} \quad SSM_{2,n+1} = 1 - DSM_{2,n+1} \quad (\text{Ec.10})$$

Donde:

A = cantidad total de agregados que resultan de la agregación (Cuadro 2)

d = cantidad de agregados que constituyen unidades resultado de disrupción adicional (Cuadro 2)

DI_n = índice de disrupción

T = cantidad total de suelo

α = cantidad neta de agregados en la fracción 2 que resultan de la disrupción de macroagregados inestables grandes. La disrupción adicional es definida en la ecuación 11.

$$ADI = \frac{[A + \alpha] - [DI_n + d]}{T} \quad (\text{Ec.11})$$

En la ecuación 11. $x_2 = x_{2G} + x_{2NF}$ Y $y_2 = y_{2G} + y_{2NF}$
Cuando $ADI > 0$, el proceso que domina es la agregación, si $ADI = 0$ no domina ningún proceso, y cuando $ADI < 0$, la disrupción es el proceso dominante que conduce el sistema al nuevo estado.

3. Resultados y discusión

3.1 Distribución de los agregados por tamaño y estabilidad

La variación en peso de los agregados de las distintas fracciones es mostrada en el Cuadro 3. Los macroagregados grandes constituyen el 90% del suelo bajo SN, el 80% en PA y el 62% en CU. Por el contrario, la cantidad de macroagregados estables pequeños (250-2000 μm) fue significativamente mayor 21% en CU, 6% en PA y 1% en SN. También, se puede observar que la cantidad de microagregados (53-250 μm) y la fracción mineral (< 53 μm) no mostró diferencias significativas (Cuadro 4).

La cantidad de macroagregados inestables grandes (> 2000 μm) aumenta en suelos bajo PA (13%) y CU (11%) con respecto a un 6% para suelos bajo SN (Cuadro 4). La cantidad de macroagregados estables decrece cuando la SN es intervenida y reemplazada por PA y CU. La relación entre la cantidad macroagregados estables en relación con la cantidad de macroagregados inestables (ME/MI) es 14,69 en SN, 6,33 en PA y 6,2 en CU.

Cuadro 1. Resumen de las ecuaciones usadas para determinar la distribución por tamaño de la estabilidad estructural (Márquez *et al.*, 2004).

Tamaño Fracción (µm)	Agregados Estables	Agregados Inestables	Ganancias
< 2000	$S_1 = T_{1s}$	$U1 = T_{1cw} - T_{1s}$	
250-2000	$S_2 = T_{2ss}$	$U2 = T_{2cw} - T_{2ss}$	$G_2 = T_{2s} - T_{2ss}$
53-250	$S_3 = T_{3cw}$		$G_3 = T_{3s} - T_{3cw}$
53-250	$S_4 = T_{4cw}$		$G_4 = T_{4s} - T_{4cw}$
Total	$TS = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$	$TU = U_1 + U_2$	$TG = G_2 + G_3 + G_4$
Ecuaciones a ser chequeadas	$TS + TU = T$	$TU = TG$	
Prueba experimental	$T_{1ss} = S_1$		

Donde: S = agregados estables; U = agregados inestables; G = ganancias de agregados de otras fracciones; TS = porcentaje total de agregados estables; TU = porcentaje total de agregados inestables; TG = ganancias total de agregados de otras fracciones; T= porcentaje total de agregados del suelo; T_{is} = cantidad total de agregados en la fracción *i* después de tamizado en húmedo de agregados secos; T_{iss} = cantidad total de agregados en fracción *i* después de un subsiguiente tamizado en húmedo de agregados en secos; T_{icw} = cantidad total de agregados en fracción *i* después de tamizado en húmedo de agregados a capacidad de campo.

Cuadro 2. Ecuaciones para calcular el valor de A (agregación) y d (disrupción) dependiendo del signo del flujo neto de agregados en cada fracción.

NF_1	NF_2	NF_3	NF_4	A	d
+	+	+	-	$ NF_4 $	0
+	+	-	-	$NF_1 + NF_2$	0
+	-	-	-	NF_1	0
-	+	+	+	0	$ NF_1 $
-	-	+	+	0	$ NF_1 + NF_2 $
-	-	-	+	0	NF_4
+	-	+	+	NF_1	$NF_3 + NF_4$
+	-	-	+	NF_1	NF_4
-	+	+	-	$ NF_4 $	$ NF_1 $
-	+	-	+	$ NF_3 $	$ NF_1 $
-	+	-	-	$ NF_3 + NF_4 $	$ NF_1 $
-	-	+	-	$ NF_4 $	NF_3
+	-	+	-	$NF_1 + b * NF_4 $	$NF_3 - b * NF_4 $

*b es una constante

Cuadro 3. Distribución de agregados por estabilidad y tamaño en peso (g).

Tamaño de la fracción μm	Pre-tratamientos al agua			Distribución de los agregados por estabilidad y tamaño		
	Seco	Húmedo	Subsecuente seco	Estables	Inestables	Ganancias
			<i>Selva nublada natural</i>			
>2000	90,35	96,5		90,35	6,15	
250-2000	4,09	0,83	0,73	0,73	0,10	3,98
53-250	2,62	1,20		1,20		1,92
<53	0,81	0,64		0,64		0,17
				TE = 92,92	TI = 6,25	TG = 6,07
Total	97,87	99,17		TE+TI = 99,17		
			<i>Pasto</i>			
>2000	79,59	92,17		79,56	12,58	
250-2000	15,51	6,16	5,65	5,65	0,51	9,86
53-250	1,72	0,63		0,63		1,09
<53	0,85	0,48		0,48		0,37
				TE = 86,32	TI = 13,09	TG = 11,32
Total	97,67	99,44		TE + TI = 99,41		
			<i>Cultivo</i>			
>2000	61,96	72,92		61,96	10,96	
250-2000	20,76	23,19	20,76	20,76	2,43	0
53-250	5,33	1,79		1,79		3,53
<53	10,12	0,89		0,89		9,23
				TE = 85,40	TI = 13,39	TG = 12,76
Total	98,25	98,80		TE+TI = 98,79		

Donde: TE = total de agregados estables; TI = total de agregados inestables.

Cuadro 4. Fracciones de agregados estables e inestables al agua (g) en diferentes usos de la tierra.

Tamaño de agregados (μm)	Selva nublada	Pastizal	Cultivo
	Agregados Estables		
> 2000	90,35a	79,59b	61,96c
250 – 2000	0,73a	5,65b	20,76c
53 – 250	1,20a	0,63a	1,79a
< 53	0,64a	0,48a	0,89a
Tamaño de agregados (μm)	Agregados Inestables		
	> 2000	6,15a	12,58b
250 – 2000	0,09a	0,50a	2,42a

Números seguidos con diferente letra dentro de la misma fila denota diferencias significativa a $P < 0,05$.

La carencia de perturbaciones bajo SN permitió la formación y estabilización de macroagregados grandes. En contraste, bajo los sistemas intervenidos, la formación de agregados y su posterior estabilización se ven disminuidas ya que la labranza rompe los agregados de suelo y libera la materia orgánica particulada, lo que incrementa la oxidación de los residuos con la consecuente desestabilización de los agregados.

3.2 Índices de macroagregados estables (SMAI) e índice de agregados estables (SAI)

La cantidad relativa de macroagregados estables fue 93% y la cantidad total de agregados estables fue 94% en el suelo bajo SN. Mientras que en suelos bajo PA fue de 85% y 87%; y 79% y 86% bajo CU, respectivamente. La diferencia entre los valores SMAI y SAI en los suelos bajo PA y SN, no supera el 2%, lo que significa que la estabilidad de los agregados en estos debe a la contribución que realizan los macroagregados (> 250 μm) en la estimación del SAI.

En tanto, que esta diferencia es del orden del 7% en suelos bajo CU y se debe a la contribución que realizan los macroagregados (< 250 μm). Los valores obtenidos para SMAI y SAI se consideran altos, si se toma en cuenta que Seybold *et al.* (2000) reportaron que indicadores similares pueden considerarse óptimos (en relación a las propiedades físicas del suelo y la productividad del mismo) cuando sus valores sean superiores al 50%. Igualmente podemos destacar que el valor absoluto de estos dos indicadores en los dos suelos en estudio es mayor al 80% lo que llama la atención si se considera que el suelo bajo pasto es el resultado de una intervención de la selva nublada. Esto lo podemos explicar si consideramos que estos suelos presentan altos contenidos de materia orgánica (182 Mg/ha), aluminio (5088

kg/ha) y arcilla (40 – 60%) (Grimm y Fassbender, 1981; Márquez 1998 y García *et al.*, 2009), factores ampliamente aceptados como contribuyentes en la estabilidad de los agregados del suelo.

3.3 Dinámica de los agregados del suelo

3.3.1 Disrupción

Del total desagregado de macroagregados inestables grandes ($U_1 = 6,15$) en el suelo bajo SN alrededor del 65% ($G_2 = 3,98$), es asignado en la fracción 2 del suelo bajo PA como macroagregados, 32% en la fracción 3 ($G_3 = 1,92$) y 3% en la fracción 4 ($G_4 = 0,17$). La disrupción total de macroagregados inestables pequeños ($U_2 = 0,10$) es irrelevante (Figura 2). Mientras que del total desagregado de

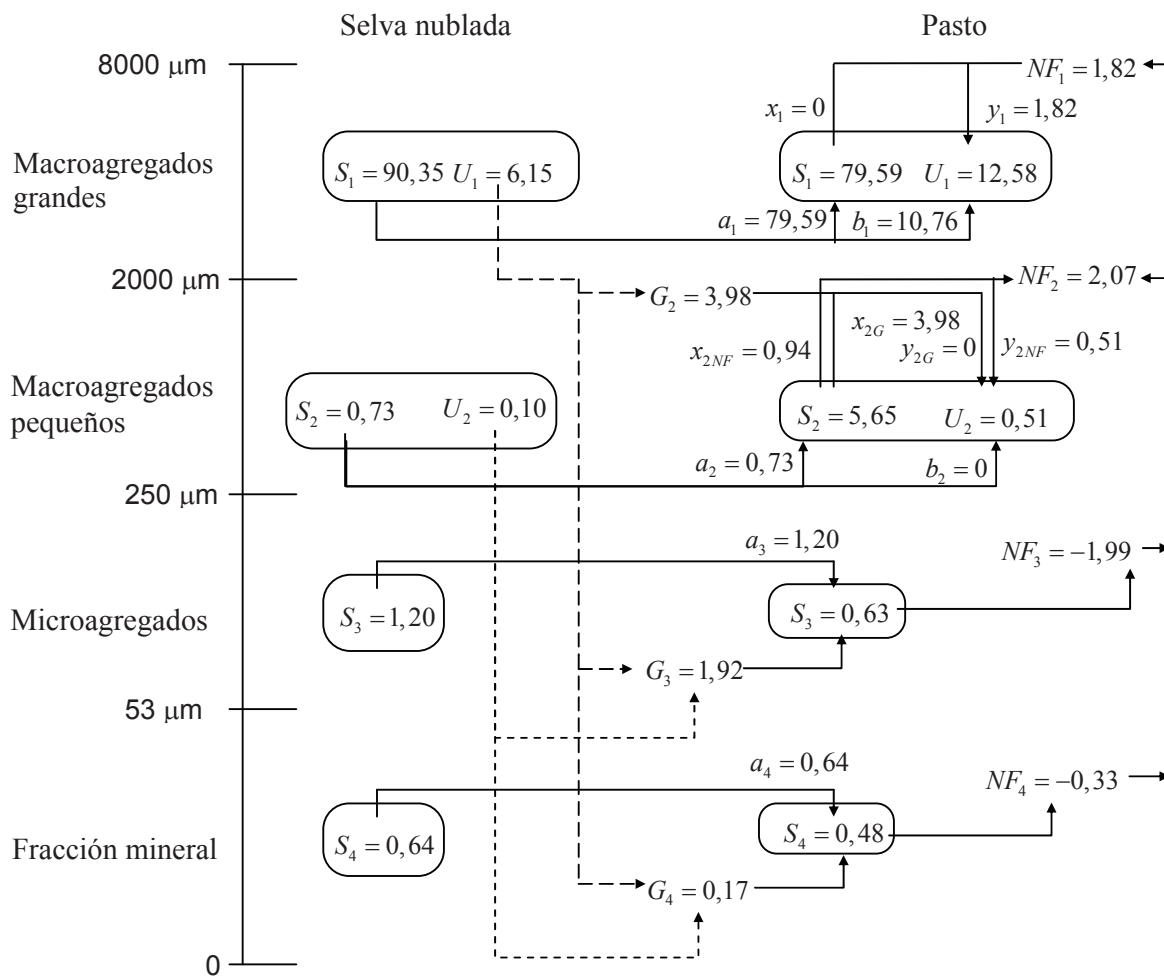


Figura 2. Movimiento de la dinámica de agregados en el suelo usando el modelo DAS, tomando como estado de referencia al suelo bajo selva nublada y como nuevo estado el suelo bajo pasto. (S = agregados estables; U = agregados inestables; NF = flujo neto; G = ganancias; x = nuevos macroagregados estables cuando $NF > 0$; y = nuevos macroagregados inestables cuando $NF > 0$; a = macroagregados estables que permanecen como estables y b = macroagregados estables que se desestabilizan; n = estado de referencia; $n+1$ = nuevo estado (pasto)).

macroagregados inestables grandes ($U_1 = 6,15$) en el suelo bajo SN alrededor del 70% ($G_2 = 3,98$), es asignado en la fracción 2 del suelo bajo CU como macroagregados, 38% en la fracción 3 ($G_3 = 1,92$) y 2% en la fracción 4 ($G_4 = 0,17$). La disrupción total de macroagregados inestables pequeños es insignificante. Estos valores indican que los macroagregados grandes inestables ($> 2000 \mu\text{m}$) bajo la SN al ser perturbados no se desagregan totalmente sino que gran parte pasa a la fracción inferior ($250\text{-}2000 \mu\text{m}$), esto indica la gran estabilidad que tienen estos suelos (Figura 3). Estos valores indican que los macroagregados grandes inestables ($> 2000 \mu\text{m}$) bajo la SN al ser perturbados no se desagregan totalmente sino

que gran parte pasa a la fracción inmediatamente inferior macroagregados pequeños ($250\text{-}2000 \mu\text{m}$), esto es el resultado de la gran estabilidad que tienen estos suelos. Lo que es altamente positivo si consideramos que en suelos con menor estabilidad estructural la disrupción de los macroagregados inestables resulta en un enriquecimiento de microagregados ($53\text{-}250 \mu\text{m}$) y fracción mineral ($< 53 \mu\text{m}$).

Cambardella y Elliot (1993) y Gale *et al.* (2000), reportan que en suelos de menor estabilidad estructural alrededor del 80% del material desagregado de los macroagregados inestables pasa a formar parte de microagregados y la fracción mineral ($< 53 \mu\text{m}$). Hernández y López

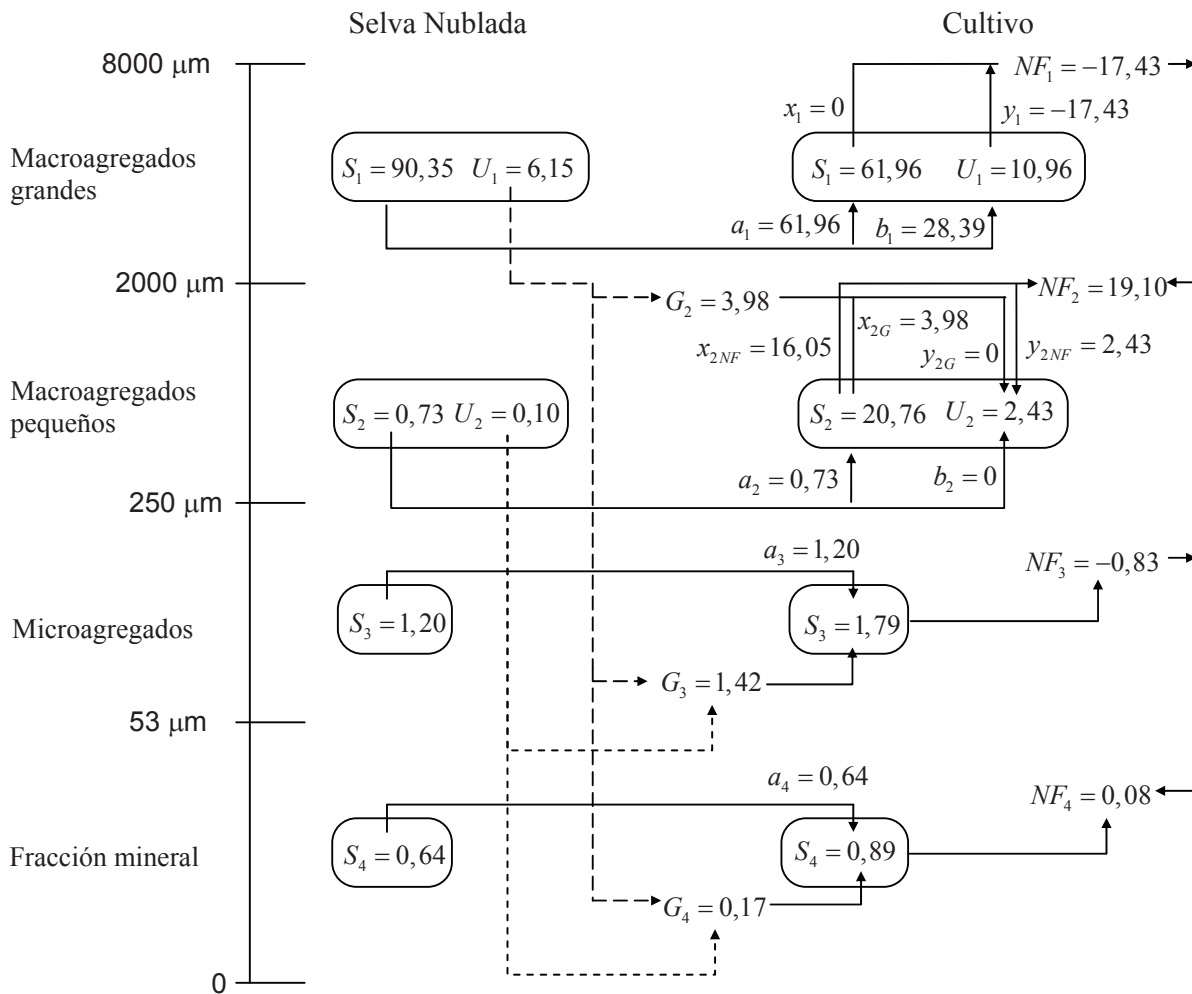


Figura 3. Movimiento de la dinámica de agregados en el suelo usando el modelo DAS, tomando como estado de referencia al suelo bajo selva nublada y como nuevo estado el suelo bajo cultivo. (S = agregados estables; U = agregados inestables; NF = flujo neto; G = ganancias; x = nuevos macroagregados estables cuando $NF > 0$; y = nuevos macroagregados inestables cuando $NF > 0$; a = macroagregados estables que permanecen como estables y b = macroagregados estables que se desestabilizan; n = estado de referencia; $n+1$ = nuevo estado (cultivo)).

(1998), encontraron que la estabilidad de agregados disminuye en suelos bajo cultivo usando labranza convencional, y es notorio que los macroagregados se desmoronan en las fracciones más pequeñas (microagregados), los cuales alcanzan un 70% del total de agregados.

3.3.2 Estabilización/desestabilización

En la figura 2 se observa que el reemplazo de la SN a PA originó la desestabilización del 12% de los macroagregados estables grandes ($b_1 = 10,76$). Por otro lado, el 88% de los macroagregados estables grandes ($a_1 = 79,59$) y el 100% de los macroagregados estables pequeños ($a_2 = 0,73$) de suelos bajo SN permanecen como estables en la misma fracción en los suelos bajo PA y no son afectados por la intervención. En la fracción 2 no se produce desestabilización de macroagregados estables pequeños ($b_2 = 0$). Así, se puede observar que la intervención de la SN favoreció la desestabilización de un 12% de macroagregados estables grandes ($> 2000 \mu\text{m}$). En la figura 3 se observa que solamente el 69% ($a_1 = 61,96$) de los macroagregados estables grandes permanecen estables en la misma fracción cuando ocurre la sustitución de SN a CU. Por otro lado, el 32% de los macroagregados estables grandes son desestabilizados y pasan a ser inestables ($b_1 = 28,39$). Asimismo el 100% de los macroagregados estables pequeños ($a_2 = 0,73$) de suelos bajo SN permanecen como estables en la misma fracción en suelos bajo CU. En la fracción 2 no se produce desestabilización de macroagregados estables pequeños ($b_2 = 0$). Se puede observar que la intervención de la selva nublada causa la desestabilización de macroagregados estables, es importante señalar que la desestabilización de macroagregados estables requiere de perturbaciones tales como la labranza. La desestabilización de macroagregados aumenta la tasa de mineralización por la exposición de la materia orgánica protegida (Balesdent *et al.*, 2000), lo que usualmente conduce a una disminución en la estabilidad de los agregados (Tisdall y Oades, 1980). En contraposición, la permanente entrada de materia orgánica en el ecosistema de selva nublada, mantiene un equilibrio entre los macroagregados que se desestabilizan y los que se estabilizan, ya que estos residuos orgánicos sirven como sustrato para el desarrollo de microorganismos y microfauna del suelo (Doran, 1980; 1996). Todos estos factores conducen al aumento de la

formación y estabilización de los agregados del suelo con la consecuente incremento de la materia orgánica y a su protección dentro de los agregados del suelo (Oades, 1984; Cambardella y Elliot, 1993 y Six *et al.*, 2000).

3.3.4 Agregación

El flujo neto de los macroagregados grandes es de signo positivo ($NF = 1,82$) cuando la SN es reemplazada por PA, lo que indica la entrada de macroagregados desde otras fracciones. La figura 2 muestra la formación en la fracción 1 de macroagregados inestables grandes ($y_1 = 1,82$) y la no formación de estables ($x_1 = 0$) en el nuevo estado (PA). En la fracción 2 el flujo neto también es de signo positivo ($NF_2 = 2,07$), indicando la formación de nuevos macroagregados pequeños que se transforman en macroagregados estables pequeños ($x_{2NF} = 0,94$) y macroagregados inestables pequeños ($y_{2NF} = 0,51$). La disrupción total de macroagregados inestables grandes resulta en un total de ganancias ($G_2 = 3,98$) que se traducen en macroagregados estables pequeños ($x_{2G} = 3,98$). Los resultados indican que microagregados ($NF_3 = -1,99$) y la fracción mineral ($NF_4 = -0,33$) se unen para formar parte de los macroagregados pequeños ($NF_2 = 2,07$) y grandes ($NF_1 = 1,82$).

El flujo neto de los macroagregados grandes es de signo negativo ($NF_1 = -17,43$), lo que indica que ocurre la salida de macroagregados una vez que los suelos de SN ha sido reemplazado por CU. La figura 3, muestra que la formación reciente en la fracción 1 es de macroagregados inestables grandes ($y_1 = -17,43$). En la fracción 2 el flujo neto tiene signo positivo ($NF_2 = 19,10$), que indica la entrada de macroagregados pequeños que se transforman en macroagregados estables pequeños ($x_{2NF} = 16,60$) y macroagregados inestables pequeños ($y_{2NF} = 2,43$). La disrupción total de macroagregados inestables grandes resulta en un total de ganancias ($G_2 = 3,98$) que se traducen en macroagregados estables pequeños ($x_{2G} = 3,98$). Los resultados indican que microagregados ($NF_3 = -0,83$) y la fracción mineral ($NF_4 = -0,33$) se unen para formar parte de los macroagregados pequeños ($NF_2 = 19,10$).

3.4 Monitoreo de la dinámica de agregados

3.4.1 Índice de disrupción (DI)

El grado de disrupción de los agregados es 6% bajo SN, 13% bajo PA y 14% bajo CU (Cuadro 5). Esto es

el resultado de un incremento del 7% - 8% de macroagregados grandes inestables en suelos bajo PA y CU comparado con suelos bajo SN.

3.4.2 Índices de formación de macroagregados estables e inestables (FIS o FIU)

Después de la perturbación que produce la máxima disrupción en los suelos bajo SN, el nuevo sistema, es decir los suelos bajo PA, comienzan a definir un nuevo equilibrio. Los resultados indican el predominio de formación de macroagregados grandes inestables $FIU_{1,n+1} = 1$ y la no formación de macroagregados grandes estable. $FIS_{1,n+1} = 0$. En contraste, se produjo una mayor formación de macroagregados estables pequeños $FIS_{2,n+1} = 0,81$ y menor de agregados inestables pequeños $FIU_{2,n+1} = 0,08$ (Cuadro 5). La formación de agregados estables pequeños esta relacionada con la disrupción que ocurrió en los macroagregados inestables grandes ($> 2000 \mu\text{m}$) bajo suelos de SN los cuales al desagregarse se rompen en unidades mas pequeñas dando origen a macroagregados más pequeños ($250 - 2000 \mu\text{m}$). Mientras que en los suelos bajo CU, los resultados indican no formación de macroagregados grandes inestables ($FIU_{1,n+1} = 0$) y estables respectivamente ($FIS_{1,n+1} = 0$). En contraste, se produjo la formación de un 87% de macroagregados estables pequeños ($FIS_{2,n+1} = 0,87$) y un 11% $FIU_{2,n+1} = 0,11$ de agregados inestables pequeños (Cuadro 5).

La formación de agregados estables pequeños esta relacionada con la disrupción que ocurrió en los macroagregados inestables grandes ($> 2000 \mu\text{m}$) bajo suelos de SN los cuales al desagregarse se rompen en unidades más pequeñas ($250-2000 \mu\text{m}$) dando origen a macroagregados estables pequeños.

3.4.3 Índices de estabilización y desestabilización de macroagregados estables (SSM y DSM)

Los valores de estos índices indican que los macroagregados grandes estables en suelos bajo SN son desestabilizados en un 12%. ($DSM_{1,n+1} = 0,12$) una vez que ocurre la perturbación y 88% permanece como macroagregados grandes estable ($SSM_{1,n+1} = 0,88$). Estos suelos muestran gran estabilidad pues los macroagregados estables pequeños no sufrieron desestabilización. $DSM_{2,n+1} = 0$ y en contraste estos agregados permanecen estables $SSM_{2,n+1} = 1$.

A consecuencia del reemplazo de SN a CU, se tiene que el 69% de los macroagregados estables grandes ($> 2000 \mu\text{m}$) y el 100% de los macroagregados estables pequeños ($250-2000 \mu\text{m}$) permanecen como estables (Cuadro 5). Los valores del índice de agregados indican que los macroagregados grandes estables en suelos bajo SN son desestabilizados en un 31% $DSM_{1,n+1} = 0,31$ una vez que ocurre la perturbación y 69% permanece como macroagregados grandes estable $SSM_{1,n+1} = 0,69$. Estos suelos

Cuadro 5. Indicadores de la dinámica de agregados del suelo debido al reemplazo de la selva nublada por pasto o cultivo

Fracción	Estado de referencia	Nuevo estado	FIS	FIU	DSM	SSM
> 2000 μm	Selva nublada	Pasto	0	1	0,12	0,88
	Selva nublada	Cultivo	0	1	0,31	0,69
250-2000 μm	Selva nublada	Pasto	0,81	0,08	0,00	1,00
	Selva nublada	Cultivo	0,89	0,11	0,00	1,00
Tipos de Uso	x_2	y_2	DI	A	d	ADI
Selva nublada			6			
Pasto	4,92	0,51	13	3,89	0	0,02
Cultivo	20,03	2,43	14	0,83	0	-0,19

Donde: FIS = índice de formación de macroagregados estables; FIU = índice de formación de macroagregados inestables; DSM = índice de desestabilización de macroagregados; SSM = índice de estabilización de macroagregados, x_2 = cantidad neta de macroagregados estables; y_2 = cantidad neta de macroagregados inestables; DI = índice de disrupción; ADI = índice de agregación-disrupción.

muestran gran estabilidad pues los macroagregados estables pequeños no sufrieron desestabilización. $DSM_{2,n+1} = 0$ y en contraste permanecen estables $SSM_{2,n+1} = 1$.

3.4.4 Índice total de agregación-disrupción (ADI)

El índice de agregación-disrupción (ADI) es positivo y su magnitud es igual a 0,02 que significa que la agregación neta fue del 2% y que el proceso predominante cuando la SN fue reemplazada por PA es la agregación (Cuadro 5). Se podría inferir que los usos de suelo bajo PA están contribuyendo a mantener una buena agregación y estabilidad suelo, por el efecto de sus raíces y los aportes de materia orgánica. Jastrow (1996), corroboró que el crecimiento de las raíces e hifas fúngicas promueve la formación de macroagregados y que la actividad de microbios permite acumular sustancias orgánicas que ligan a las partículas o agregados del suelo. Al mismo tiempo observó que bajo condiciones favorables de temperatura y humedad y con adecuadas cantidades de minerales de arcilla y cationes polivalentes, una proporción significativa de la materia orgánica incorporada se asocia rápidamente con material mineral. Los reflejado por el índice de agregación disrupción están en correspondencia con lo observado por García *et al.* (2009) quien reporta una recuperación en el sistema de pastizal ya que se alcanzaron niveles de hasta 209,60 Mg/ha de materia orgánica, lo que representa un incremento de 16,75%, y en valor absoluto de 30,08 Mg/ha con respecto al sistema no intervenido de selva nublada (179,52 Mg/ha). En suelos bajo pasto, Cambardella y Elliot (1993) y Six *et al.* (2000) señalan que la incorporación regular de residuos vegetales, el crecimiento de las raíces, mejora la cantidad y calidad de humus, promoviendo la formación y estabilización de agregados con la consecuente estabilización y protección de la materia orgánica. Grimm y Fassbender (1981) reporta que el aluminio alcanza la mayor reserva (82%) de los elementos acumulados en el complejo de intercambio catiónico en estos suelos, lo cual implica un empobrecimiento de las bases y una estabilidad del complejo orgánico mineral entre enlaces de aluminio y ácidos húmicos. En contraste el índice de agregación-disrupción (ADI) es negativo y su magnitud es igual a -0,19 que significa que la disrupción neta fue de 19% y que el proceso predominante es la disrupción cuando la SN fue reemplazada por CU (Cuadro 5).

Los valores del ADI están en correspondencia con lo reportado por García *et al.* (2009), quien observó un descenso considerable en el contenido de materia orgánica en el sistema CU (136,64 Mg/ha) con respecto al sistema no intervenido de SN (179,52 Mg/ha). En el CU se observa una disminución del 23,9% en relación con suelos bajo la SN, lo que se podría deber a la menor incorporación de hojarascas, material de desecho del cultivo y lixiviado al suelo, como consecuencia de las labores de labranza. Varios autores (Cambardella y Elliot 1992; Six *et al.*, 2000) confirman que la labranza rompe los agregados y expone la materia orgánica que está físicamente protegida de la degradación y mineralización del carbono y los nutrientes asociados, con el consecuente incremento en las tasas de mineralización, lo que conduce a su vez a la desestabilización de los agregados. Podríamos inferir que la disrupción del (-19%) de los agregados a través de la disrupción y desestabilización contribuyó a la mineralización de 42,88 Mg/ha que estaba protegida entre los macroagregados. Los macroagregados grandes pueden formarse mediante la acumulación de macroagregados pequeños, alrededor de la materia orgánica particulada y núcleos de bacterias alrededor de las raíces (Bronick y Lal, 2005).

4. Conclusiones

Los suelos bajo SN presentan un 90 % de macroagregados grandes estables comparado con 80% en suelos bajo PA y un 62% bajo CU. El cambio de uso de SN a PA causa la desestabilización de un 12 % de macroagregados grandes estables (> 2000 μm) pero no la desestabilización de los macroagregados pequeños estables (250 – 2000 μm). La dinámica de los agregados esta siendo dominada por procesos de agregación (ADI = 2%). Los resultados sugieren que existe una nueva dinámica de los agregados en el suelo bajo PA. Así, el tipo de utilización de la tierra de uso ha contribuido a mantener la agregación y la estabilidad del suelo, por el efecto de sus raíces y los aportes de materia orgánica. El cambio de uso de SN a CU causa la desestabilización del 31% de macroagregados grandes estables (> 2000 μm), no ocurriendo desestabilización de los macroagregados pequeños estables (250 – 2000 μm). Los resultados indican la no formación de macroagregados grandes inestables ($FIU_{1,n+1} = 0$)

y estables respectivamente ($FIS_{1,n+1} = 0$). El índice de agregación-disrupción es negativo y su magnitud es igual a (-0,19) lo que significa que la dinámica de los agregados esta siendo dominada por procesos de disrupción. Este valor del índice ADI están en correspondencia con lo reportado por García *et al.* (2009), quienes observaron una decrecimiento importante en el contenido de materia orgánica en el sistema CU (136,64 Mg/ha) con respecto al sistema no intervenido de SN (179,52 Mg/ha). Este decrecimiento en la materia orgánica se podría deber a la menor incorporación de hojarascas, material de desecho del cultivo y lixiviado del suelo, como consecuencia de las labores de labranza.

5. Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero al CDCHT de la Universidad de Los Andes por financiar el proyecto FO-600-05-01-B.

6. Referencias bibliográficas

- BALESDENT, J., C. CHENU y M. BALABANE. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Tillage Res.* 53: 215-230.
- BRONICK, C. J. y R. LAL. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 322.
- CAMBARDELLA, C y E. ELLIOT. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 77-83.
- CAMBARDELLA, C. y E. ELLIOTT. 1993. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 1071-1076.
- DORAN, J., M. SARRANTONIO y M. LIEBIG. 1996. Soil health and sustainability. In: *Advances in Agronomy*. D.L. Sparks (ed.) Vol. 56. Academic Press. San Diego. USA. 1-54 pp.
- GALE, W.J., C.A. CAMBARDELLA y T. B. BAILEY. 2000. Root-derived carbon and the formation and stabilization of aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 201-207.
- GARCÍA, M., C. O. MÁRQUEZ, R. LÓPEZ y R. HERNANDEZ. 2009. Reservas orgánicas y minerales del suelo y su afectación por la deforestación de la selva nublada estado Mérida, Venezuela. *Revista Andina* 16: 28-38.
- GRIMM, U. y H. W. FASSBENDER. 1981. Ciclos bioquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. I. Inventario de las reservas orgánicas y minerales (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Na). *Turrialba* 31(1): 27-37.
- HAYNES, R. J. 2000. Interactions between soil organic matter status, cropping history, method of quantification and sample pretreatment and their effects on measured aggregate stability. *Biol Fertil Soils* 30: 270-275.
- HERNANDEZ, R. M. y D. LOPEZ. 2002. Microbial biomass, mineral nitrogen y carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. *Soil Biol. Biochem.* 34: 1563-1570.
- JASTROW, J., T. BOUTTON y R. M. MILLER. 1996. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 801-807.
- LAL, R. 1993. Tillage effects on soil degradation, soil resilience and soil quality and agricultural sustainability. *Soil Tillage Res.* 27: 1-8.
- MÁRQUEZ, C. O. 1988. Génesis de una secuencia de suelos en el Bosque Experimental San Eusebio, La Carbonera. Estado Mérida. *Revista Forestal Venezolana* 32: 133-150.
- MÁRQUEZ, C. O. 2001. Dynamics of aggregates and carbon associated with aggregates under different riparian zones. Ph.D. diss. Iowa State Univ. Ames, USA. 215 p.
- MÁRQUEZ, C. O., V. J. GARCÍA, C. A. CAMBARDELLA, R. C. SCHULTZ y T. M. ISENHART. 2004. Aggregate-size stability distribution and soil stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68 (3): 725-735.
- MÁRQUEZ, C. O., V. J. GARCÍA, C. A. CAMBARDELLA, R. C. SCHULTZ y T. M. ISENHART. 2005. Dinámica de agregados del suelo. Memorias del XVII. Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo (en CD). 17 al 20 de Mayo de 2005. Maracay, Venezuela.
- MILLER, R. M. y J. D. JASTROW. 1990. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Biol Biochem.* 2(5): 579-584.
- OADES, J. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76: 319-337.
- OADES, J. M. y A. G. WATERS. 1991. Aggregate Hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.* 29: 815-828.
- SAS Institute. 2000. Procedures guide. Released 8.02 edition. Cary, NC USA. 222 p.
- SEYBOLD, C. A., M. J. MAUSBACH, D. L. KARLEN y H. H. ROGERS. 1997. *Quantification of soil quality*. In: *Soil*

- Processes and the Carbon Cycle*. R. Lal, J. K. Kimble, R. F. Follett y B. A. Stewart (eds.), CRC Press. Boca Raton, FL, USA. 387-404 pp.
- SIX, J., E. ELLIOTT, K. PAUSTIAN y J. DORAN. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1367-1377.
- SIX, J., K. PAUSTIAN, E. ELLIOTT y C. COMBRINK. 2000. Soil structure and organic matter. I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 681-689.
- SOIL SURVEY STAFF. 2006. Keys to soil taxonomy. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Tenth Edition. Washington, USA. 341 p.
- TISDALL, J y J. OADES. 1980. The effect of crop rotation on aggregation in a red brown earth. *Aust J. Soil. Res.* 18: 423-433.
- VALCARCEL, R. 1982. Clasificación y mapeo de sitios en la Estación Experimental San Eusebio basada en criterios físicos hidrológicos del suelo. Trabajo de grado. Maestría en Manejo de Bosque. Cefap, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 85 p.
- WILLIAMS, R. y G. COOKE. 1961. Some effects of farmyard manure and grass residues on soil structure. *Soil Sci.* 92: 30-39.