

# Influencia del cambio de uso de la tierra sobre las sustancias húmicas y la estabilidad de los agregados en suelos de sabanas y bosques tropicales

Influence of land-use change on humic substances and aggregates stability of tropical savanna and forest soils

R.M. Hernández-Hernández<sup>1</sup>, M. Pulido-Moncada<sup>2</sup>, R. Caballero<sup>2</sup>,  
E. Cabriales<sup>2</sup>, I. Castro<sup>1</sup>, E. Ramírez<sup>1</sup>, T. Rondón<sup>2</sup>,  
J. Ferrer<sup>3</sup>, B. Flores<sup>3</sup> y B. Mendoza<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos IDECYT. Centro de Agroecología Tropical CEDAT. Laboratorio de Biogeoquímica. Altos del Cují, Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez UNESR, estado Miranda, 1241, Venezuela. <sup>2</sup>Facultad de Agronomía FAGRO. Instituto de Edafología IE. Universidad Central de Venezuela UCV, Maracay-Venezuela. <sup>3</sup>Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos UNERG. San Juan de los Morros, estado Guárico, Venezuela. <sup>4</sup>Universidad Centro-Occidental Lisandro Alvarado UCLA. Barquisimeto, estado Lara, Venezuela.

## Resumen

Con el crecimiento de las actividades humanas en los países tropicales, los ecosistemas vienen sufriendo un acelerado cambio de uso de la tierra con consecuencias en el ciclo biogeoquímico del carbono (C). La pérdida de la biodiversidad de los ecosistemas tropicales y las mayores tasas en que suelen ocurrir los procesos biológicos de sus suelos, afectan su función al disminuir la descomposición y humificación de la materia orgánica e inciden sobre la calidad del suelo. Este trabajo fue realizado en suelos de bosques y sabanas de Venezuela sometidos a distintos usos de la tierra. El objetivo fue evaluar cómo las transformaciones de ecosistemas naturales a diferentes sistemas de producción vegetal afectaron las fracciones húmicas, el C y la estabilidad de los agregados. Con un diseño aleatorio-estratificado, se tomaron muestras compuestas de suelo (0-10 cm) en cada uno de los 8 manejos considerados, a las cuales se les determinó las sustancias húmicas y no húmicas, los macro y micro agregados estables al agua y el C presente en dichas fracciones de agregados. En todos los casos, los controles eran los ecosistemas no intervenidos bajo las mismas condiciones ecológicas. Las ma-

Recibido el 15-1-2013 ● Aceptado el 26-9-2013

Autor de correspondencia e-mail: rosa.hernandez@unesr.edu.ve; rodama33@yahoo.com.mx

yores variaciones estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ), entre usos de la tierra, ocurrieron en el C extraíble, las sustancias no húmicas, la estabilidad de macroagregados y el C protegido, obteniéndose correlaciones significativas entre estas propiedades del suelo. Se concluye que el impacto por el cambio de uso de la tierra fue mayor cuando los suelos son de bosques que si son de sabanas.

**Palabras clave:** Sustancias húmicas, cambio de uso de la tierra, carbono, estabilidad de agregados, bosques y sabanas tropicales.

## Abstract

An increment of the human activity in the tropical countries has led to accelerate land use changes with consequences on the carbon (C) biogeochemical cycle. The loss of biodiversity and the highest rates, at which the biological processes of their soils occur, affect the decomposition and the humification of the organic matter. This later affects the functioning of the tropical ecosystems and the soil quality conservation. This study was conducted in forest and savannas soils of Venezuela managed with different land use management systems. The objective was to evaluate how the transformation of natural ecosystems into different vegetal production systems has affected the humic fractions, the aggregates stability and the C protected in these aggregates. Using a stratified random sampling technique, soil samples (0-10 cm) were taken in each of 8 managements considered. Humic and non humic substances, water stable macro and micro aggregate and the C content were determined. In all situations the native ecosystems were the controls under the same ecological conditions. Significant statistical variations ( $P < 0,05$ ) among land use managements/ systems occurred in the extractable C, the no humic substances, macro aggregate stability and their protected C. Significant correlations among these soil properties were obtained. However, the impact produced by land-use changes was higher in forest soils than in savannas soils.

**Key words:** Humic substances, land-use changes, carbon, aggregate stability, tropical forest and savanna.

## Introducción

Es conocido y preocupante el incremento de la tasa de deforestación de las sabanas y de los bosques tropicales que ha llevado consigo pérdidas de la biodiversidad y de los servicios ambientales de sus recursos, influyendo en el mantenimiento y la calidad de vida de las poblaciones humanas que hacen vida en el trópico. La FAO (1996)

## Introduction

The increment of the deforestation rate of the savannahs and the tropical forests is a well known topic that concerns lot of people. This deforestation has caused losses of the biodiversity and the environmental services of the resources, influencing on the maintenance and life's quality of the human population that live in

señaló que entre los años 1950 y 1990 se deforestaron más de 300 millones de hectáreas de bosques tropicales, principalmente para uso agrícola y urbano. A su vez, en el mismo periodo, el pastoreo intensivo degradó más del 20% de las pasturas y pastizales de la región. Producto de ello, la afectación del recurso suelo es uno de los mayores cambios ecológicos y biológicos que ocurren actualmente. Han sido reportadas 580 millones de hectáreas de suelos degradados, lo cual se ha incrementado en el trópico, como consecuencia de la deforestación (FAO, 1996).

El cambio de uso de la tierra afecta los niveles de materia orgánica (MO), considerada el componente del suelo más importante desde el punto de vista funcional, e influye en sus fracciones lábiles y estables (Hernández-Hernández, 2008; López-Hernández *et al.*, 2005; Sharma *et al.*, 2004). Al sustituir la vegetación natural por un determinado cultivo, cambia la cantidad y calidad de la MO que ingresa al suelo (Helfrich *et al.*, 2008), el microclima, la temperatura, el régimen de humedad del suelo (Bravo *et al.*, 2004), la condición estructural del suelo y por tanto los procesos biológicos que afectan la descomposición de la MO (Ruiz y Paolini, 2005; Sanderman y Amundson, 2003). Estos efectos pueden diferir según sean los ecosistemas que están sufriendo la transformación: bosques o sabanas (Zinn *et al.*, 2002). Considerando que las fracciones estables, sustancias húmicas, constituyen un alto porcentaje del C del suelo y tienen un importante papel en la estructuración y estabilidad del mismo (Lozano *et al.*,

the tropic. The FAO (1996) mentioned that from 1950 to 1990 more than 300 millions of hectares of tropical forests were deforested, mainly for an agriculture or urban purpose. At the same time, and during the same period, the intensive grazing degraded more than 20% of grasses and pastures in the region. Consequently, the affectation of the soil is one of the most impacting ecological and biological changes that occur nowadays. 580 millions of hectares with degraded soils have been reported, which has increased in the tropic as a consequence of the deforestation (FAO, 1996).

The change of the land's use affects the levels of the organic matter (MO), considered the most important soil component from the functional point of view, and influences on its labile and stable fractions (Hernández-Hernández, 2008; López-Hernández *et al.*, 2005; Sharma *et al.*, 2004). When substituting the natural vegetation for a specific crop, the quantity and quality of organic matter that gets into the soil changes (Helfrich *et al.*, 2008), as well as the micro-weather, the temperature, the water soil regimen (Bravo *et al.*, 2004), the structural condition of the soil, and consequently, the biological processes that affect the decomposition of the organic matter (Ruiz and Paolini, 2005; Sanderman and Amundson, 2003).

These effects can differ according to the ecosystems that are suffering the transformations: forests or savannahs (Zinn *et al.*, 2002). Considering that the stable fractions and the humic substances constitute a high C percentage of the soil and have

2011; Abiven *et al.*, 2009), los cambios que se produzcan en ellas pueden ser indicadores de gran valor para diagnosticar impactos de larga duración en el suelo y en el funcionamiento del ecosistema (Manla y *et al.*, 2007; Gil-Sotres *et al.*, 2005).

Existe diversidad de criterios en la literatura de suelos tropicales, al tratar de explicar qué fracciones de MO son más importantes en la agregación y estabilización del suelo (Denef *et al.*, 2007; Coleman *et al.*, 1989). Se discute además si las fracciones húmicas, consideradas las fracciones más estables de MO, son susceptibles a los cambios de uso de la tierra en tiempos de corto y medio plazo (Virto *et al.*, 2010; Von Lützwow *et al.*, 2006). En relación a ello, hay autores que consideran que los ácidos húmicos caracterizados por su alto peso molecular y alta capacidad de intercambio de cationes, son los más importantes en el proceso de estabilización de los agregados, sin embargo otros autores consideran que las sustancias húmicas de bajo peso molecular ejercen mayor acción en la agregación del suelo, toda vez que poseen mayor cantidad de grupos funcionales oxigenados libres como los carboxilos, oxhidrilos fenólicos y carbonilos (-COOH, -OH y -COO) (López *et al.*, 2004). Por otra parte, se ha señalado que las pérdidas de MO, se deben a un aceleramiento de la descomposición y pérdida de las fracciones orgánicas que unen a los agregados del suelo (Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002), e inclusive que esas pérdidas se pueden observar en las fracciones más estables de la MO, poniendo en discusión el verdadero origen de su estabilidad en el suelo

an important role in the structuring and stability of it (Lozano *et al.*, 2011; Abiven *et al.*, 2009), the changes produced in these may be very important indicators to diagnose long-term impacts in the soil and in the functioning of the ecosystem (Manla y *et al.*, 2007; Gil-Sotres *et al.*, 2005).

There are different criteria in the literature of tropical soils, which explain which fractions of organic matter are the most important in the aggregation and stabilization of the soil (Denef *et al.*, 2007; Coleman *et al.*, 1989). It is also discussed if the humic fractions, considered as the most stable fractions of organic matter, are susceptible to the changes of the land's use in short and long period of time (Virto *et al.*, 2010; Von Lützwow *et al.*, 2006). In relation to this, there are authors that consider that the humic acids characterized by their elevate molecular weight and the high cation exchange, are the most important in the stabilization process of the aggregates, however, other authors consider that the humic substances with low molecular weight have more impact on the aggregation of the soil, once these have higher quantity of free oxygenated functional groups, such as carboxyl, hydroxyl, phenolic and carbonyl (-COOH, -OH and -COO) (López *et al.*, 2004).

On the other hand, losses of organic matter have been reported, and are due to the acceleration of the decomposition and the lost of organic fractions that bond the soil aggregates (Hernández-Hernández and López-Hernández, 2002), and those losses can be observed in the most stable fractions of the organic matter, debating the

(Theng *et al.*, 1989). El objetivo de este estudio ha sido comparar la influencia del cambio de uso de la tierra sobre las sustancias húmicas y no húmicas y su relación con la estructuración de suelos de sabana y de bosque de los Llanos Centrales y de la Cordillera de la costa venezolana, respectivamente.

## Materiales y métodos

El trabajo fue realizado en ecosistemas tropicales localizados en la región Central de Venezuela, sometidos a cambios de uso de la tierra. Se evaluaron los cambios ocurridos en bosques que rodean el embalse de La Mariposa en Caracas a 10°23'52" N 66°57'08" O y a 1481 msnm (zona 1), en bosques de la Colonia Tovar en el estado Aragua a 10°25'03" N 67°17'06" O y a 2087 msnm (zona 2), en bosques localizados en Montalbán, en el estado Carabobo a 10°12'00" N 68°18'46" O y a 654 msnm (zona 3) y en sabanas bien drenadas de los Llanos Centrales ubicadas en La Estación Experimental La Iguana a 8°26'48" N 65°24'06" O y a 108 msnm, en el estado Guárico (zona 4). Los cambios de uso de la tierra en las zonas señaladas son mostrados en el cuadro 1. En general, los suelos eran arenosos y franco arenosos, ácidos, con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) (3 a 19  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ ), bajo a medio contenido de nitrógeno (N) (0,1 a 0,4%) y con rangos de bajos (sabanas) a altos (bosques) contenidos de MO en el horizonte superficial del suelo (0,7 a 11,1%) (cuadro 2).

En cada ecosistema estudiado se levantaron tres parcelas de 20 x 30 m para tomar las muestras de suelos. En cada unidad experimental (parcela) se tomaron tres muestras compuestas,

true origin of its stability in the soil (Theng *et al.*, 1989). The objective of this research was to compare the influence on the land-use change on the humic and non-humic substance, and their relation with the soils structuring of the savannah and forests of the Central Plains and the Venezuelan Coast Range, respectively.

## Materials and methods

The research was done in tropical ecosystems located on the central region of Venezuela, submitted to changes in the land's use. The changes occurred in the forests that surround the reservoir La Mariposa in Caracas at 10°23'52" N 66°57'08" W at 1481 masl were evaluated (zone 1), as well as in the forests of the Colonia Tovar, in Aragua state at 10°25'03" N 67°17'06" W at 2087 masl (zone 2), in forests in forests located in Montalbán, Carabobo state at 10°12'00" N 68°18'46" W at 654 masl (zone 3) and well drained savannahs of the Central Plains located in the Experimental Station La Iguana at 8°26'48" N 65°24'06" W at 108 masl, in Guárico state (zone 4). The changes of the land-use in the mentioned areas are shown on table 1. Generally, the soils were sandy and sandy-loamy, acids, with low cation interchange capacity (CIC) (3 to 19  $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ ), low to medium nitrogen content (N) (0.1 to 0.4%) and with low ranks (savannahs) to high (forests) contents of organic matter (N) (0.1 to 0.4%) and with ranks from low (savannahs) to high (forests) contents of organic matter in the superficial horizon of the soil (0.7 to 11.1%) (table 2).

**Cuadro 1. Denominación y descripción de los cambios de uso de la tierra estudiados en las 4 zonas agroecológicas.**

**Table 1. Denomination and description of the land-use change studied on the 4 agro-ecological areas.**

Zona	Cambio de uso de la tierra	Descripción	Denominación
Zona 1	Bosque montano (Bm) a Bosque de Pinos (Pi)	Bosque montano biodiverso que fue transformado hace 8 años, en un monocultivo de Pinos Pinuscaribaea.	Bm-Pi
	Bosque montano (Bm) a Bosque de Eucaliptus (Eu)	Bosque montanotransformado, desde hace 8 años, en un monocultivo de Eucaliptus Eucalyptus robusta.	Bm-Eu
	Bosque montano (Bm) a Sabana Secundaria (SS)	Bosque montano transformado en una sabana secundaria surgida por la acción del fuego, desde hace diez años.	Bm-SS
Zona 2	Bosque nublado (Bn) a cultivo de fresas (F)	Bosque nublado transformado en monocultivo de fresas con uso de gallinácea y NPK.	Bn-F
	Bosque nublado (Bn) a cultivo de durazno (D)	Bosque nublado transformado en monocultivos de árboles de duraznos con defoliación dos veces al año.	Bn-D
Zona 3	Bosque premontano (Bpmi) a frutales de cítricas (Ci)	Bosque Pre-montanotransformado a monocultivo de cítricas en suelos inceptisoles, desde hace diez años.	Bpmi-Ci
	Bosque premontano (Bpmu) a frutales de cítricas (Cu)	Bosque Pre-montanotransformado a monocultivo de cítricas desde hace diez años en un suelo ultisol.	Bpmu-Cu

**Cuadro 1. Denominación y descripción de los cambios de uso de la tierra estudiados en las 4 zonas agroecológicas (Continuación).**

**Table 1. Denomination and description of the land-use change studied on the 4 agro-ecological areas (Continuation).**

Zona	Cambio de uso de la tierra	Descripción	Denominación
Zona 4	Sabanas de Trachypogon (SN) a Cultivos de maíz asociados a Brachiaria dictioneura (P)	Sabana natural bien drenada con Trachypogon vestitus convertida a pasturas de Brachiaria dictioneura asociada a maíz con siembra directa, con roca fosfórica como 100% de fuente de P. Cuatro años de conversión.	SN-P
	Sabanas de Trachypogon (SN) a cultivos de maíz asociados a Centrosema macrocarpum (L)	Sabana natural bien drenada, convertida acoberturas de leguminosa Centrosema macrocarpum, asociada a maíz bajo siembra directa, con roca fosfórica como 100% de fuente de P. Cuatro años de conversión.	SN-L

**Cuadro 2. Características físico-químicas de suelos de los ecosistemas y agroecosistemas.****Table 2. Physic-chemical characteristics of the soils of the ecosystems and agro-ecosystems.**

Ecosistema	Orden	Arena %	Limo %	Arcilla %	pH	MO %	N %	CIC cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup>
SN	Ultisol	76	10	14	5,01	1,33	0,04	2,62
P	Ultisol	92	6	3	5,69	3,30	0,05	2,30
L	Ultisol	80	14	5	4,72	3,68	0,06	3,21
Bpmi	Inceptisol	58	28	14	6,53	4,92	—	—
Ci	Inceptisol	49	34	17	5,76	3,24	—	—
Bpmu	Ultisol	56	28	16	4,90	2,17	—	—
Cu	Ultisol	60	25	15	5,44	1,74	—	—
Bm	Inceptisol	71	22	7	5,71	5,17	0,27	7,22
SS	Inceptisol	67	24	9	5,23	1,38	0,11	4,40
Pi	Inceptisol	69	26	5	5,35	0,69	0,08	3,41
Eu	Inceptisol	79	16	5	4,92	2,07	0,12	3,23
Bn	Inceptisol	70	9	22	4,51	11,01	0,35	16,50
F	Inceptisol	72	9	19	5,65	6,80	0,27	19,25
D	Inceptisol	59	18	23	5,18	5,88	0,27	6,41

L: cultivo de forrajeras leguminosas, P: pastizales mejorados, SN: sabana natural, Ci: Cultivo de cítricos en inceptisol, Bpmi: Bosque premontano en inceptisol, Cu: Cítricos en ultisol, Bpmu: Bosque premontano en ultisol, SS: Sabana secundaria de montaña, Bm; Bosque montano, Pi: Pinar, Eu: Bosque de Eucaliptos, Bn: Bosque nublado, F: Cultivo de fresas, D: Cultivo de duraznos. MO: materia orgánica, N: Nitrógeno total, CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

cada una formada de 10 sub-muestras al azar, a una profundidad de 0-10 cm. La muestra de suelo fue secada al aire (aproximadamente a 25°C), homogeneizada y tamizada a través de un tamiz de 2 mm para los análisis de fraccionamiento de MO. El contenido de carbono extraíble total (CET), ácidos húmicos (CAH), ácidos fúlvicos (CAF), y las sustancias no húmicas (CSNH) se determinaron usando una extracción de 10 g de suelo con una

On each of the evaluated ecosystems, three plots of 20x30 m were used for taking the soil's samples. On each experimental unit (plot) three composed samples were taken, each formed with 10 sub-samples at random at a depth of 0-10 cm. The soil sample was left to dry with the air (approximately at 25°C), homogenized and sift with a 2mm sieve for the fractioning analyses of organic matter. The total removable carbon content



solución de NaOH/Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (Merck) (Schnitzer y Schuppli, 1989). Los AH, AF y las sustancias no húmicas (SNH), se separaron utilizando un medio ácido (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 50%); que precipitó a los AH. Para purificar los AF de las SNH se usó una columna de polivinilpirrolidona insoluble (Sigma P6755) (Ciavattay Govi, 1993). El Carbono orgánico (CO) se determinó usando el método de oxidación húmeda en cada fracción química obtenida, el Nitrógeno total (N) por micro kjeldahl, el pH en una relación suelo: agua 1:2,5 y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) mediante extracción de cationes con acetato de amonio (Anderson e Ingram, 1993). Se determinaron varios índices (Ruiz y Paolini, 2005): i.- Índice de humificación (IH=CSNH/CAH+CAF), ii.- Grado de humificación (GH=100\*CAH+CAF/CET), iii.- Relación de humificación (RH=100\*CAH+CAF/CO).

La distribución de macro y microagregados estables al agua, se obtuvo usando el método de tamizado en húmedo de Yoder modificado (Hernández-Hernández *et al.*, 2000), en el cual, agregados tamizados entre mallas de apertura 2 y 1 mm de diámetro, se sometieron a 6 minutos de prehumedecimiento por capilaridad y 5 minutos de tamizado, separándose los macroagregados (>250µm) y los micro agregados (<250µm). A su vez, el CO fue medido en cada una de estas fracciones de agregados. Por otra parte, se estimó la distribución de tamaño de partículas a través del método del hidrómetro (Gee y Bauder, 1979).

Se determinaron coeficientes de correlación de Spearman (P≤0,05) para relacionar las sustancias húmicas con

(CET), humic acids (CAH), fulvic acids (CAF), and non-humic substances (CSNH) were determined extracting 10g of the soil with a NaOH/Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> solution (Merck) (SchnitzerySchuppli, 1989).

AH, AF and non-humic substances (SNH) were divided using an acid culture (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 50%) which precipitated the AH. To purify the AF from the SNH, an insoluble polyvinylpyrrolidone column was used (Sigma P6755) (CiavattayGovi, 1993). The organic carbon (CO) was determined using the water oxidation method on each of the chemical fraction obtained, the total nitrogen (N) by microkjeldahl, the pH in a soil:water relation 1:2.5 and the cation interchange capacity (CIC) extracting the cations with ammonium acetate (Anderson eIngram, 1993). Different indexes were determined (Ruiz and Paolini, 2005): i.- humification index (IH=CSNH/CAH+CAF), ii.- humification degree (GH=100\*CAH+CAF/CET), iii.- humification relation (RH=100\*CAH+CAF/CO).

The distribution of the macro and micro aggregates that are stable in water was obtained using the sifting humid method of Yoder modified (Hernández-Hernández *et al.*, 2000), where the sifted aggregates among aperture meshes of 2 and 1 mm of diameter, were submitted to 6 minutes of pre-moistening by capillarity and 5 minutes of sifting, dividing the macro-aggregates (>250µm) and the micro-aggregates (<250µm). At the same time, the CO was measured on each of the aggregate fractions. On the other hand, the distribution of the particles

cambios en la estabilidad estructural del suelo y el tamaño de partícula. Igualmente se correlacionaron las variaciones de las fracciones químicas y físicas de los suelos debidas al cambio en el uso de la tierra en los ecosistemas evaluados. Mediante un diseño estadístico completamente aleatorio con tres repeticiones (parcelas) por ecosistema, se compararon las variaciones en las fracciones húmicas y de la estabilidad de agregados de los suelos de cada ecosistema entre los diferentes usos de la tierra, usando un análisis de variancia unifactorial, 95% de probabilidad y la prueba de Duncan (SSPS versión 17).

## Resultados y discusión

### Cambios en las sustancias húmicas:

Con excepción en los suelos Bn y en los de sus cambios de usos (D y F), el CAH, seguido del CSNH, constituyen las principales formas presentes en el CET. En el suelo Bn, el CSNH representa 61% del CET y el CAH el 32% (cuadro 3). Al comparar las variaciones ( $\Delta$ ) de CO de las sustancias húmicas y no húmicas (en g.kg<sup>-1</sup>), entre los diferentes ecosistemas, debidas al cambio de uso de la tierra (cuadro 3), se observa que todas las transformaciones producen una disminución del CO del suelo, ocurriendo significativamente ( $P \leq 0,05$ ) la menor perturbación en el CO de los suelos de sabanas en relación a los bosques. Los cambios de sabanas a coberturas forrajeras perennes (SN-P, SN-L) también indujeron la menor variación del CET, CSNH y sustancias húmicas con excepción del CAF, cuyos cambios no

size was estimated using the hydrometer method (Gee y Bauder, 1979).

The Spearman correlation coefficients were determined ( $P \leq 0.05$ ) to relate the humic substances with changes on the structural stability of the soil and the size of the particle. Likewise, were correlated the variations of the chemical and physical fractions of the soil due to the land-use change of the evaluated ecosystems. The variations in the humic fractions and the stability of the soil aggregates of each ecosystem were compared among the different uses of the land, and using a factorial variance analysis, 95% accuracy and the Duncan test (SSPS version 17).

## Results and discussion

### Changes on the humic substances:

Excepting in the soils Bn and on their land-use change (D and F), the CAH followed by CSNH, constitute the main ways present on the CET. In the soil Bn, the CSNH represents 61% of the CET and CAH 32% (table 3). When comparing the variations ( $\Delta$ ) of CO of humic and non-humic substances (in g.kg<sup>-1</sup>), among the different ecosystems due to the land-use change (table 3), is observed that all the transformation produce a reduction of the CO of the soil, with significantly ( $P \leq 0.05$ ) lower perturbation in the CO of the savannah's soils in relation to the forests. The changes of the savannahs to perennial fodder covers (SN-P, SN-L) also induced the lowest variation of CET, CSNH and humic substance excepting the CAF, which changes did

variaron respecto a los observados en Bpm y Bm, convertidos a cultivos de cítricos o monocultivos de Pi o Eu. Por el contrario, en los ecosistemas de bosques, cuyos suelos son más ricos en MO que los suelos de sabana, el cambio de uso de la tierra produjo, en término de ocho a diez años, efectos importantes en todas las sustancias húmicas, con menor intensidad en el CAF.

Entre los ecosistemas de bosques, las variaciones significativamente más altas ( $P \leq 0,05$ ) en CO y CET, se observan en los Bm transformados en Pi, o en Eu o cuando ocurren fuegos frecuentes; como en las SS de montaña. Esta transformación (Bm-SS) es de los pocos cambios de uso de la tierra evaluados en los ecosistemas de bosques, que produce una variación positiva significativa ( $P \leq 0,05$ ) del CET, CSNH y CAH, mientras que en todos los demás, las variaciones de estas fracciones son negativas o no significativas. Los Bn a pesar que son los que muestran la mayor y significativa disminución del CO, del CET y del CAH, cuando se convierten en cultivos de F o de D, evidencian pocas modificaciones del CAF y CSNH, similar a lo encontrado en los Bpm y las SN.

Los resultados obtenidos coinciden con los de Rivero y Paolini (1994), Mc Callister y Chien (2000) y Ruiz y Paolini (2005), quienes indican que el CAH, por lo general, supera el CAF. No se observó un patrón definido de la distribución del CO entre compuestos no húmicos y húmicos, lo cual varió según el ecosistema y cambio de uso de la tierra. Según Ruiz y Paolini (2005) la proporción entre estos compuestos depende del tipo de suelo, des-

not vary in relation to the ones observed in Bpm and BM, converted to citric crops or monocrops of Pi or Eu. On the opposite, in the ecosystems of forests, which soils are richer in organic matter than the savannah soils, the land-use change produced within eight to ten years, important effects in all the humic substance, but with lower intensity in the CAF.

Among the forests ecosystems, the highest significant variations ( $P \leq 0.05$ ) in CO and CET, are observed in the Bm transformed in Pi or in Eu, or when frequent changes occur, as in the SS of the mountain. This transformation (Bm-SS) is part of the few changes in the land-use change evaluated in the forests ecosystems that produce a significant positive variation ( $P \leq 0.05$ ) of the CET, CSNH and CAH, meanwhile in the rest, the variations of these fractions are negative or non-significant. Even though the Bn show the highest and significant reduction of the CO, CET and CAH, when turning into crops of F and D, these show little modifications of CAF and CSNH, similar to the ones found on Bpm and SN.

The results obtained agree to those found by Rivero and Paolini (1994), Mc Callister and Chien (2000) and Ruiz and Paolini (2005), who indicate that the CAH generally surpasses the CAF. It was not observed a defined pattern of the distribution of CO between the non-humic and humic compounds, which varied according to the ecosystem and the land-use change. According to Ruiz and Paolini (2005), the proportion among these components depend on the type of the soil, outstanding the importance on

tacándose la importancia del uso de la polivinilpirrolidona para la separación de la fracción de compuestos no húmicos de los ácidos fúlvicos especialmente en inceptisoles, entisoles y ultisoles, como los suelos del presente estudio.

### **Cambios en la humificación de los compuestos de CO:**

Los suelos que tuvieron más CAH y CAF, como los de bosques nublados y los agroecosistemas de fresas y duraznos, presentaron los menores IH ( $<1$ ), además tuvieron los más altos valores de GH y de RH, lo cual indica que hay una alta tendencia de los suelos de bosques y de sus agroecosistemas a tener compuestos de CO muy humificados (cuadro 3). En estos casos una alta proporción del CO o del CET está como CAH y CAF. Los monocultivos de pinos, presentaron los valores más bajos de CO (cuadro 3), pero generaron compuestos orgánicos muy humificados, concordantes con los IH y GH, índices que muestran que del CET, la mayor proporción está como CAH y CAF y no como CSNH. Con excepción de los Bpm, Bm y el cultivo de cítricos, todos los IH están por debajo de 0,5 (Ciavatta y Govi, 1993). Si se considera el IH junto con el GH, se pudiera señalar que los suelos en general son bastante humificados, especialmente los de bosques por tener porcentajes de GH mayor de 60%. No obstante, el cambio de uso de la tierra en ecosistemas de sabanas y de bosques tiende a disminuir la humificación, con excepción de la transformación de Bm a monocultivo de Pi o de Eu, donde sucede lo contrario. Ello estaría relacionado con la producción de residuos orgánicos de difícil descomposición de

the use of the polyvinylpyrrolidone for dividing the fractions of the non-humic compounds from the fulvic acids, especially in inceptisols, entisols and ultisols, as the soils in the current research.

### **Changes in the humification of the CO compounds:**

The soils that had more CAH and CAF, such as cloudy forests and agroecosystems of strawberry and peaches, presented the lowest IH ( $<1$ ), these also had the highest values of GH and RH, which indicates that there is a high tendency of the forests' soils and their agroecosystems to have very humic CO compounds (table 3). In these cases, a high proportion of CO and the CET is presented as CAH and CAF. The monocrops of pines, presented the lowest values of CO (table 3), but generated very humic organic compounds, as well as the IH and GH, indexes that show that in the CET, the highest proportion is presented as CAH and CAF and not as CSNH. All the IH, excepting the Bpm, Bm and the crop of citrics, are under 0.5 (Ciavatta and Govi, 1993). If the IH is considered with the GH, it could be said that the soils in general, are very humic, especially the ones of the forest by having GH percentages higher than 60%. Nevertheless, the land-use change in ecosystems of savannahs and forests tend to reduce the humification, excepting the transformation of Bm to the monocrop of Pi or Eu, where the opposite happens. This might be related because the production of organic residues is difficult to decompose in these monocrops (Hernández-Hernández *et al.*, 2008).

**Cuadro 3. Índices de humificación y contenidos ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y variaciones ( $\Delta\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) de carbono en las sustancias húmicas de suelos bajo diferentes uso de la tierra.**

**Table 3. Humification indexes and contents ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) and variations ( $\Delta\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) of carbon on the humic substances of the soil under different land-use.**

Ecosistema	CO	CET	CSNH	CAH	CAF	IH	GH	RH
	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$							
SN	25,91 $\pm$ 0,29	11,88 $\pm$ 3,18	2,52 $\pm$ 0,77	8,44 $\pm$ 1,80	0,93 $\pm$ 0,08	0,26 $\pm$ 0,15	54,39 $\pm$ 4,84	36,21 $\pm$ 5,51
P	24,95 $\pm$ 4,09	13,34 $\pm$ 2,06	3,57 $\pm$ 0,67	8,77 $\pm$ 1,50	1,01 $\pm$ 0,07	0,37 $\pm$ 0,06	57,04 $\pm$ 10,86	39,34 $\pm$ 3,50
L	21,52 $\pm$ 3,30	12,00 $\pm$ 1,02	3,90 $\pm$ 0,74	7,08 $\pm$ 0,18	1,02 $\pm$ 0,42	0,48 $\pm$ 0,09	49,98 $\pm$ 11,39	38,23 $\pm$ 45,83
Cambio de uso	$\Delta\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$							
SN-P	-4,39 <sup>b</sup>	0,11 <sup>c</sup>	1,38 <sup>b</sup>	-1,36 <sup>abc</sup>	0,10 <sup>bc</sup>			
SN-L	-0,96 <sup>b</sup>	1,46 <sup>cd</sup>	1,06 <sup>b</sup>	0,32 <sup>bcd</sup>	0,08 <sup>bc</sup>			
Ecosistema	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$							
Bpmi	49,17 $\pm$ 10,37	15,93 $\pm$ 2,45	4,03 $\pm$ 0,00	8,65 $\pm$ 2,62	3,25 $\pm$ 0,36	0,35 $\pm$ 0,06	74,33 $\pm$ 3,63	24,52 $\pm$ 4,31
Ci	32,43 $\pm$ 3,03	12,27 $\pm$ 0,31	4,37 $\pm$ 0,60	5,06 $\pm$ 0,74	2,83 $\pm$ 0,36	0,56 $\pm$ 0,12	64,34 $\pm$ 4,82	24,60 $\pm$ 4,37
Bpmu	21,68 $\pm$ 2,55	8,76 $\pm$ 0,51	4,71 $\pm$ 0,49	1,42 $\pm$ 0,14	2,62 $\pm$ 0,36	1,17 $\pm$ 0,17	46,26 $\pm$ 3,77	18,76 $\pm$ 1,60
Cu	17,44 $\pm$ 1,05	10,79 $\pm$ 1,32	4,37 $\pm$ 0,60	3,79 $\pm$ 1,12	2,62 $\pm$ 0,36	0,68 $\pm$ 0,05	59,49 $\pm$ 1,93	37,08 $\pm$ 6,70
Cambio de uso	$\Delta\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$							
Bpmi-Ci	-16,74 <sup>a</sup>	-3,66 <sup>bc</sup>	0,34 <sup>b</sup>	-3,59 <sup>a</sup>	-0,42 <sup>b</sup>			
Bpmu-Cu	-4,24 <sup>b</sup>	2,03 <sup>cd</sup>	-0,34 <sup>b</sup>	2,37 <sup>d</sup>	0,00 <sup>ab</sup>			

L: cultivo de forrajeras leguminosas, P: pastizales mejorados, SN: sabana natural, CO: C orgánico, CET: C extraíble total, CSNH: C sustancias no húmicas, CAH: C ácidos húmicos, CAF: C ácidos fúlvicos, IH: Índice de humificación, GH: Grado de humificación, RH: Rehumificación. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los distintos cambios de uso de la tierra por cada fracción húmica. Prueba de Duncan (P<0,05).

**Cuadro 3. Índices de humificación y contenidos ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) y variaciones ( $\Delta\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) de carbono en las sustancias húmicas de suelos bajo diferentes uso de la tierra (Continuación).**

**Table 3. Humification indexes and contents ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) and variations ( $\Delta\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) of carbon on the humic substances of the soil under different land-use Continuation).**

	CO	CET	CSNH	CAH	CAF	IH	GH	RH
Ecosistema								
	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$							
Bm	29,85±4,62	12,20±2,71	7,43±0,45	3,85±0,75	0,92±0,06	1,58±0,16	38,89±2,47	15,83±2,02
SS	8,43±0,61	4,96±0,30	1,50±0,56	2,37±0,48	1,10±0,43	0,46±0,07	69,77±11,63	40,98±5,88
Pi	3,68±1,21	2,12±0,82	0,32±0,04	1,27±0,76	0,53±0,03	0,30±0,04	81,91±22,24	46,44±2,25
Eu	11,57±4,93	4,70±1,95	1,62±0,17	2,40±0,60	0,67±0,06	0,61±0,06	67,20±21,16	26,90±7,03
Cambio de uso								
	$\Delta\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$							
Bm-SS	-21,42 <sup>a</sup>	7,24 <sup>d</sup>	5,93 <sup>c</sup>	1,49 <sup>cd</sup>	-0,18 <sup>ab</sup>			
Bm-Pi	-26,17 <sup>a</sup>	-10,08 <sup>a</sup>	-7,11 <sup>a</sup>	-2,58 <sup>ab</sup>	-0,39 <sup>b</sup>			
Bm-Eu	-18,28 <sup>a</sup>	-7,50 <sup>ab</sup>	-5,80 <sup>a</sup>	-1,45 <sup>abc</sup>	-0,25 <sup>ab</sup>			
Ecosistema								
	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$							
Bn	63,97±7,01	53,08±6,99	10,95±0,69	32,36±7,70	9,76±1,10	0,27±0,05	79,04±3,35	65,87±8,26
F	39,46±4,73	37,08±4,83	9,23±0,52	20,19±3,68	7,66±1,12	0,34±0,04	74,90±2,27	70,51±6,42
D	39,81±3,45	37,62±3,50	9,13±1,27	21,23±2,53	7,26±0,69	0,32±0,05	75,67±2,93	71,50±3,54
Cambio de uso								
	$\Delta\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$							
Bn-F	-24,51 <sup>a</sup>	-16,00 <sup>b</sup>	-1,72 <sup>d</sup>	-12,17 <sup>c</sup>	-2,11 <sup>a</sup>			
Bn-D	-24,16 <sup>a</sup>	-15,46 <sup>b</sup>	-1,82 <sup>d</sup>	-11,13 <sup>c</sup>	-2,51 <sup>a</sup>			

L: cultivo de forrajeras leguminosas, P: pastizales mejorados, SN: sabana natural, CO: C orgánico, CET: C extraíble total, CSNH: C sustancias no húmicas, CAH: C ácidos húmicos, CAF: C ácidos fúlvicos, IH: Índice de humificación, GH: Grado de humificación, RH: Rehumificación. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los distintos cambios de uso de la tierra por cada fracción húmica. Prueba de Duncan ( $P<0,05$ ).

estos monocultivos (Hernández-Hernández *et al.*, 2008).

### **Cambios en el CO y proporción de los agregados estables al agua:**

Tanto el CO como las fracciones CET, CSNH, CAH y el CAF estuvieron correlacionados al tamaño de partículas minerales (cuadro 4). Si bien la fracción arena no tiene ningún efecto sobre el CO y sus fracciones húmicas y no húmicas, la fracción arcilla está asociada positivamente con las fracciones orgánicas, mientras que la fracción limo lo está negativamente ( $P \leq 0,01$ ). Ello sugiere que la presencia de arcilla en estos suelos de texturas gruesas favorece la estabilización de la MO, concordante con la alta correlación positiva y negativa ( $P \leq 0,01$ ) entre estas fracciones orgánicas con el CO de los microagregados y de los macroagregados, respectivamente. Con excepción del CET, las demás fracciones húmicas tienen correlaciones positivas con las fracciones de macro y microagregados estables al agua de todos los suelos de los ecosistemas y agroecosistemas considerados. La importancia de las fracciones finas en la estabilización de la MO ha sido señalada por Denef *et al.* (2007).

Cuando se comparan las variaciones de la proporción de macroagregados y microagregados estables al agua entre los distintos cambios de uso de la tierra (figura 1), se observa que las menores variaciones de cambios ( $P \leq 0,05$ ) en la proporción de macroagregados estables se produjeron en SN-P o en SN-L y en Bm-SS. La mayor disminución de macroagregados ocurrió en Bpm de un suelo inceptisol convertido a cítricos

### **Changes in the CO and proportion of the stable aggregates to the water:**

The CO and the fractions CET, CSNH, CAH and CAF were related to the size of the mineral particles (table 4). Even though the sand fraction has none effect on the CO and its humic and non-humic fractions, the clay fraction is positively related to the organic fractions, meanwhile the lime fraction is negatively related ( $P \leq 0.01$ ). This suggests that the presence of clay in these soils with thick texture favor the stabilization of the MO, in agreement to the high positive and negative correlation ( $P \leq 0.01$ ) among these organic fractions with the CO of the micro-aggregates and the macro-aggregates, respectively. Excepting the CET, all the humic fractions have positive correlations with the macro and micro-aggregates fractions stable to the layer of all the soils of the ecosystems and the agro-ecosystems. The importance of the fine fractions in the stabilization of the MO has been mentioned by Denef *et al.* (2007).

When are compared the proportion variations of the macro-aggregates and the micro-aggregates stable in the water, among the different land-use change (figure 1), it is observed that the lowest variations of these changes ( $P \leq 0.05$ ) in the proportion of the stable macro-aggregates were produced in SN-P or in SN-L and in Bm-SS. The highest distribution of macro-aggregates occurred in Bpm of an inceptisol soil converted to citric (Bpmi-Ci); with losses of even 30% of the macro-aggregates. On the other side, the variation in the proportion of the

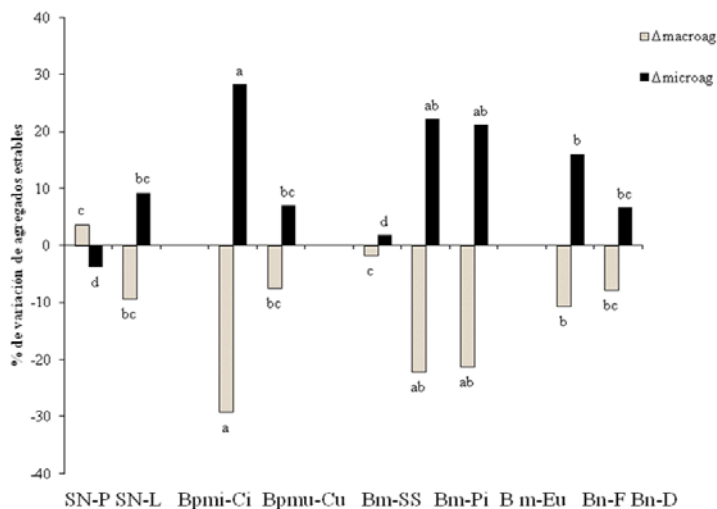
**Cuadro 4. Correlaciones entre fracciones húmicas de CO, índices de humificación, distribución de tamaño de partículas y de fracciones de macro y microagregados. Coeficiente de Pearson P<0,01\*\* y P<0,05\*.**

**Table 4. Correlations among the humic fractions of CO, humification indexes, size distribution of the particles, and macro and micro-aggregates fractions. Pearson coefficient P<0.01\*\* and P<0.05.**

	CO	CSNH	CET	CAH	CAF	arena	Limo	Arcilla	Macro	Micro
CO		0,81**	0,87**	0,85**	0,80*		-0,34*	0,73**	0,67**	0,82**
CSNH			0,91**	0,82**	0,88**		-0,42**	0,74**	0,65**	0,82**
CET				0,98**	0,95**		-0,54**	0,78**	0,65**	-0,82**
CAH					0,89**		-0,58**	0,73**	0,57**	0,79**
CAF							-0,42**	0,84**	0,74*	0,82*
IH			-0,34*	-0,43**	-0,34*		0,36*			
GH			0,34*	0,44**	0,32*		-0,37**			
RH	-0,44**	0,61**	0,79**	0,80**	0,78**		-0,55**	0,58**	0,39**	0,52**
AH/AF		0,53**			-0,32*	0,68**	-0,52**	-0,32**	-0,51**	-0,31*
AF/CO			0,57**	0,49**	0,75**	-0,34*		0,61**	0,58**	0,46**
Arena									-0,46*	
Limo									0,81*	-0,30*
Arcilla										0,63**
COMacro	-0,63**	-0,66**	-0,61**	-0,52**	-0,71**					
COMicro	0,55**	0,55**	0,55**	0,50**	0,51**					

L: cultivo de forrajeras leguminosas, P: pastizales mejorados, SN: sabana natural, CO: C orgánico, CET: C extraíble total, CSNH: C sustancias no húmicas, CAH: C ácidos húmicos, CAF: C ácidos fúlvicos, IH: Índice de humificación, GH: Grado de humificación, RH: Rehumificación, COMacro: CO en la fracción de macroagregados, COMicro: CO en la fracción de microagregados. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los distintos cambios de uso de la tierra por cada fracción húmica. Prueba de Duncan (P<0,05).





L: cultivo de forrajeras leguminosas, P: pastizales mejorados, SN: sabana natural Ci: Cultivo de cítricos en inceptisol, Bpmi: Bosque premontano en inceptisol, Cu: Cítricos en ultisol, Bpmu: Bosque premontano en ultisol, SS: Sabana secundaria de montaña, Bm; Bosque montano, Pi: Pinar, Eu: Bosque de Eucaliptos, Bn: Bosque nublado, F: Cultivo de fresas, D: Cultivo de duraznos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los distintos cambios de uso de la tierra por cada fracción de agregados estables. Prueba de Duncan ( $P < 0,05$ ).

**Figura 1. Variaciones ( $\Delta$ ) en la distribución de agregados estables al agua de suelos de sabanas y bosques tropicales por diferentes cambios de uso de la tierra.**

**Figure 1. Variations ( $\Delta$ ) in the distribution of stable aggregates to the water of savannah and tropical forests soils by different land-use change.**

(Bpmi-Ci); con pérdidas de hasta 30% de los macroagregados. Por otro lado, la variación en la proporción de microagregados, se reflejó en un aumento para casi todos los cambios de uso de la tierra, con excepción de la transformación de SN-P, que disminuyó en un 4%. La mayor variación positiva de porcentaje de microagregados fue detectada en Bpmi-Ci, sin embargo es de destacar que este mismo manejo en un ultisol de un bosque, tuvo

micro-aggregates was reflected in an increment for almost all the land-use changes, excepting in the transformation of SN-P, which reduced in 4%. The highest positive variation of the micro-aggregate percentage was detected in Bpmi-Ci, however, it must be said that this same handle in a forest ultisol had a lower increment in the proportion of micro-aggregates (figure 1). The forest evidenced higher impacts on the

un menor incremento en la proporción de microagregados (figura 1). Los bosques evidenciaron mayores impactos en la estabilidad de los agregados cuando se transformaron en agroecosistemas; disminuyendo significativamente la proporción de macroagregados y aumentando la de los microagregados.

Pocas variaciones en la proporción de los macro y microagregados ocurrieron cuando el Bm se convirtió en una SS producto del fuego, posiblemente por la masa radical del pastizal que favorece la estabilización de los macroagregados (Hernández-Hernández y López-Hernández, 2002). Aparentemente el impacto de la conversión a uso agrícola o forestal de un Bm es mayor que cuando la conversión sucede en una SN, donde las plantas nativas son sustituidas por plantas herbáceas de una fisionomía y funcionamiento similar, especialmente las *Brachiarias* que con su gran cantidad de raíces, exudados y actividad biológica promueven la agregación temporal de macroagregados.

Las variaciones ( $\Delta$ ) en las fracciones húmicas están fuertemente correlacionadas ( $P < 0,01$ ) con las observadas en la estabilidad de los macroagregados. En el cuadro 5 se muestra que los cambios de la proporción de macroagregados que ocurren con el cambio de uso de la tierra, se correlacionaron positivamente con las variaciones ( $\Delta$ ) que se produjeron en el CO, el CET, CSNH y CAH, al intervenir la sabana o el bosque nativo. Cuando disminuyen estas fracciones orgánicas por el manejo, también decrece la proporción de

stability of the aggregates when were transformed in the agroecosystems, reducing significantly the proportion of the macro-aggregates and increasing the proportion of the micro-aggregates.

Few variations in the proportion of the macro and micro-aggregates occurred when the Bm became in a SS due to the fire, maybe because of the radical mass of the fodder that favors the stabilization of the macro-aggregates (Hernández-Hernández and López-Hernández, 2002). Apparently, the conversion impact to agriculture or forest use of a Bm is higher when the conversion happens in a SN, where the native plants are substituted by herbaceous plants with a similar physiognomy and functioning, especially the *Brachiarias*, which with their great quantity of roots, exudates and biological activity promote the temporal aggregation of the macro-aggregates.

The variations ( $\Delta$ ) in the humic fractions are strongly correlated ( $P < 0.01$ ) to the ones observed in the stability of the macro-aggregates. In table 5 are shown that the proportion changes of the macro-aggregates that occur with the land-use changes, were positively correlated to the variations ( $\Delta$ ) produced in the CO, CET, CSNH and CAH, when intervening the savannah or the native forests. When these organic fractions reduce due to the handle, the proportion of the stable macro-aggregates decreases and increases the ones of the micro-aggregates. The changes in the macro-aggregates are mainly due to the variations of the more labile CO

macroagregados estables y aumenta la de microagregados. Los cambios en los macroagregados se deben principalmente a variaciones de las sustancias de CO más lábiles, como las CSNH, el CET y las más estables como el CAH (cuadro 5).

## Conclusiones

La MO disminuye con el cambio de uso de la tierra, tanto en bosques (20 y 80%) como en sabanas (16 y 20%). El CET y el CSNH se incrementan con la transformación de la sabana a pastizal y disminuyen en el suelo del bosque transformado en monocultivos de cítricos, pinos o eucaliptus. En todos los cambios de uso disminuyeron los CAH, más que los CAF. Los microagregados estables aumentaron

substances, such as CSNH, CET, and the most stable such as CAH (table 5).

## Conclusions

The MO reduces with the land-use change in the forests (20 to 80%) and in the savannahs (16 and 20%). The CET and CSNH increase with the transformation of the savannah to the grass, and reduce in the soil of the forest transformed into citric monocrops, pines or eucalyptus. In all the land-use changes, the CAH reduced, more than the CAF. The stable microaggregates increased with the transformation of the ecosystems to the agro-ecosystems, especially in the forests' ecosystems, and this was directly related to the reduction of humic and non-humic fractions of

**Cuadro 5. Correlación entre las variaciones ( $\Delta$ ) de macro y microagregados estables y las variaciones ( $\Delta$ ) de fracciones húmicas de la MO ocasionadas por el cambio de uso de la tierra en sabanas y bosques tropicales. Coeficiente de Pearson  $P < 0,01^{**}$  y  $P < 0,05^*$**

**Table 5. Correlation between the variations ( $\Delta$ ) of the macro and micro stable aggregates and the variations ( $\Delta$ ) of humic fractions of the organic matter, caused by the land-use change in savannah and tropical forests. Pearson coefficient  $P < 0.01^{**}$  and  $P < 0.05^*$**

	$\Delta$ CET	$\Delta$ CSNH	$\Delta$ CAH	$\Delta$ CAF	$\Delta$ Macro	$\Delta$ Micro
$\Delta$ CO	0,61**	0,31*	0,58**	0,47*	0,46*	-0,44*
$\Delta$ CET		0,76**	0,88**	0,68**	0,52**	-0,52**
$\Delta$ CSNH					0,47*	-0,48*
$\Delta$ CAH				0,63**	0,46*	-0,44*

CO: C orgánico, CET: C extraíble total, CSNH: C sustancias no húmicas, CAH: C ácidos húmicos, CAF: C ácidos fúlvicos. IH: Índice de humificación, GH: Grado de humificación, RH: Rehumificación. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los distintos cambios de uso de la tierra por cada fracción húmica. Prueba de Duncan ( $P < 0,05$ ).

con la transformación de ecosistemas a agroecosistemas, especialmente en los ecosistemas de bosques y ello estuvo directamente relacionado con la disminución de fracciones húmicas y no húmicas de la MO del suelo. La disminución de la biodiversidad de los bosques a transformarse en plantaciones forestales, afecta la calidad de la MO del suelo y lo hace propenso a perderse por menor estabilidad estructural reflejada en los macroagregados.

## Agradecimiento

Se agradece el apoyo prestado por el personal del Laboratorio de Química del IE-FAGRO de la UCV; Técnico Mavelis Delgado y la Dra. Zenaida Lozano. El personal del Laboratorio de Biogeoquímica del CEDAT-IDECYT de la UNESR. El soporte financiero otorgado por el IDECYT y el postgrado de Ciencia del Suelo de IE-FAGRO de la UCV.

## Literatura citada

- Abiven, S., S. Menasser y C. Chenu. 2009. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability—A literature analysis. *Soil Biol. Biochem.* 41:1-12.
- Anderson, J. y J.S.I. Ingram. 1993. *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods*. Second edition. CAB International. Wallingford, UK. 221 p.
- Bravo, C., Z. Lozano, R.M. Hernández-Hernández, L. Piñango y B. Moreno. 2004. Efecto de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro.* 16:163-174.
- Ciavatta, C. y M. Govi. 1993. Use of insoluble polyvinyl pyrrolidone and isoelectric

organic matter to the soil. The biodiversity reduction of forests to transform into forests plantations, affects the quality of the organic matter, and makes it prompt to lose due to a lower structural stability showed in the macro-aggregates.

## Acknowledgement

The authors want to thanks the support provided by the personnel of the Chemistry Laboratory of IE-FAGRO of the UCV; also to the technician Mavelis Delgado and the Dr. Zenaida Lozano; also, the personnel of the Bio-geochemistry of CEDAT-IDECYT of the UNESR. The finance support given by the IDECYT and the Master of the Science of the Soil of IE-FAGRO of UCV.

*End of english version*

---

- focusing in the study of humic substances in soils and organic wastes. *J. Chromatography.* 23:261-270.
- Coleman, D.C., J.M. Oades y G. Uehara. 1989. *Dynamic of soil matter in tropical systems- Niftal Project*. University of Hawaii. 245 p.
- Denef, K., L. Zotarelli, R.M. Boddeyd y J. Six. 2007. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. *Soil Biol. Biochem.* 39:1165–1172.
- FAO. 1996. *The state of food and agriculture*. Rome.
- <http://www.fao.org/docrep/003/w1358e/w1358e00.htm>
- Gee, G.W. y J.W. Bauder. 1979. Particle size analysis by hydrometer: A simplified method for routine textural analysis

- and a sensitivity test of measurement parameters. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43:1004-1007.
- Gil-Sotres, F., C. Trasar-Cepeda, M.C. Leirós y S. Seoane. 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biol. Biochem.* 37:877-887.
- Helfrich, M., B. Ludwig, M. Potthoff y H. Flessa. 2008. Effect of litter quality and soil fungi on macroaggregate dynamics and associated partitioning of litter carbon and nitrogen. *Soil Biol. Biochem.* 40:1823-1835.
- Hernández-Hernández, R.M. 2008. Dinámica y manejo de la materia orgánica en suelos de sabanas bien drenadas. *Act. Biol. Venez.* 28:69-84.
- Hernández-Hernández, R.M., E. Ramírez, I. Castro y S. Cano. 2008. Cambios en indicadores de calidad de suelos de ladera reforestados con pinos (*Pinus caribaea*) y eucaliptos (*Eucalyptus robusta*). *Agrociencia.* 42:253-266.
- Hernández-Hernández, R.M. y D. López-Hernández. 2002. Mineralization and microbial biomass in savanna soil aggregates under two different types of tillage. *Soil Biol. Biochem.* 34:1563-1570.
- Hernández-Hernández, R.M., A. Florentino y D. López-Hernández. 2000. Efecto de la siembra directa y la labranza convencional sobre la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de un suelo de sabana. *Agron. Trop.* 50 (2):9-29.
- López, L., S. Lo Mónaco y A. Gann. 2004. Caracterización de ácidos húmicos extraídos de suelos de diferentes regiones de Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (UCV).* 30:63-77.
- López-Hernández, D., R.M. Hernández-Hernández y M. Brossard. 2005. Historia de uso reciente de tierras de las sabanas de América del Sur. Estudios de casos en sabanas del Orinoco. *INTERCIENCIA.* 30:623-629.
- Lozano, Z., C. Rivero, C. Bravo y R.M. Hernández-Hernández. 2011. Fracciones de la materia orgánica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de coberturas. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 28:35-56.
- Manlay, R.J., C. Feller y M.J. Swift. 2007. Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agr. Ecosyst. Environ.* 119: 217-233.
- McCallister, D.L. y W.L. Chien. 2000. Organic carbon quantity and forms as influenced by tillage and cropping sequence. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31:465-7-479.
- Rivero, C. y J. Paolini. 1994. Caracterización de la Materia Orgánica de Tres Suelos Venezolanos. *Rev. Fac. Agron. (UCV).* 20:167-176.
- Ruiz, M. y J. Paolini. 2005. Parámetros de humificación en suelos cultivados. *Agrochimica.* 49:79-86.
- Sanderman, J. y R. Amundson. 2003. Biogeochemistry of decomposition and detrital processing. *Treatise on Geochemistry.* University of California, USA. 8:249-316.
- Schnitzer, M. y P. Schuppli. 1989. Methods for sequential extraction of organic matter from soils and soil fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1418-1424.
- Sharma, P., S.C. Rai, R. Sharma y E. Sharmac. 2004. Effects of land-use change on soil microbial C, N and P in a Himalayan watershed. *Pedobiologia.* 48:83-92.
- Theng, B.K., K.R. Tate y P. Sollins. 1989. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. p: 5-32. En: Coleman, D., J. Oades and G. Uehara (Eds.). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystem.* NifalProjet, Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii. Hawaii, USA.
- Virto, I., C. Moni, C. Swanston y C. Chenu. 2010. Turnover of intra- and extra-aggregate organic matter at the silt-size scale. *Geoderma.* 156: 1-10.
- Von Lützwow, M., I. Kögel-Knabner, K. Ekschmitt, E. Matzner, G.

Guggenberger, B. Marschner, y H. Flessa. 2006. Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions- A review. *Eur. J. Soil Sci.* 57:4 26-445.

Zinn, Y.L., D.V.S. Resck y J.E. da Silva. 2002. Soil organic carbon as affected by afforestation with eucalyptus and pinus in the Cerrado Region of Brasil. *Forest Ecol. Manag.* 166: 285-294.