

## SUSTANCIAS HÚMICAS Y ESTABILIDAD DE AGREGADOS EN ECOSISTEMAS TROPICALES SUJETOS A CAMBIOS DE USO DE LA TIERRA

Rosa Mary Hernández-Hernández<sup>1\*</sup>, Mansonia Pulido<sup>2</sup>, Ronelly Caballero<sup>2</sup>, Ignacio Castro<sup>1</sup>, Elizabeth Ramírez<sup>1</sup>, Tatiana Rondón<sup>2</sup>, Bestalia Flores<sup>1</sup>, Betty Mendoza<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Simón Rodríguez, IDECYT, Laboratorio de Biogeoquímica, Caracas, Venezuela; <sup>2</sup>Universidad Central de Venezuela, FAGRO, Maracay, Venezuela; E-mail: [rosa.hernandez@unesr.edu.ve](mailto:rosa.hernandez@unesr.edu.ve)

### 1. Resumen

Las fracciones húmicas constituyen el principal componente de la materia orgánica del suelo, definiendo el papel que cumple este recurso en los ecosistemas y agroecosistemas. Así, las alteraciones producidas en las mismas, por el cambio de uso de la tierra, pueden afectar la conservación del suelo y de sus propiedades. Este trabajo fue realizado en bosques y sabanas que fueron sometidos a distintos usos de la tierra. Tuvo como objetivo evaluar cómo las transformaciones de ecosistemas naturales a diferentes sistemas de producción vegetal afectaron las fracciones húmicas y la estabilidad de agregados. Las mayores variaciones estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre usos de la tierra ocurrieron en el C extraíble, las sustancias no húmicas y la estabilidad de macroagregados, obteniéndose correlaciones 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 claves:** Sustancias húmicas, cambio de uso de la tierra, agregados, carbono.

### 2. 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, revirtiéndose en el mantenimiento y la calidad de vida de las poblaciones humanas que hacen vida en el trópico. Entre los mayores cambios ecológicos y biológicos está la afectación del recurso suelo y de una de sus propiedades más importantes desde el punto de vista funcional como es la materia orgánica (MO), cuyas fracciones lábiles y estables sufren, en mayor o menor grado, con los cambios de uso de la tierra. Al sustituir la vegetación natural por un determinado cultivo, cambia la cantidad y calidad de la MO que ingresa al suelo, el microclima, la temperatura, el régimen de humedad del suelo, la condición estructural del suelo y por tanto los procesos biológicos que afectan la descomposición de la MO (Ruiz y Paolini, 2005). Estos efectos pueden diferir según sean los ecosistemas que están sufriendo la transformación: bosques o sabanas. 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.*, 2011), los cambios que se produzcan en ellas pudieran ser indicadores de gran valor para diagnosticar impactos de larga duración en el suelo y en el funcionamiento del ecosistema.

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 (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 mediano plazo. 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.*, 2006). 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 (Theng *et al.*, 1989). El objetivo de este estudio fue comparar cómo las sustancias húmicas y no húmicas de suelos de sabanas y suelos del bosque responden a diferentes cambios del uso de la tierra y cómo se relacionan con la estabilidad estructural del suelo.

### 3. Materiales y métodos

El trabajo fue realizado en ecosistemas tropicales localizados en la región Central de Venezuela, los cuales han sufrido impactos por los cambios de uso de la tierra. Estos ecosistemas fueron: 1.- Sabana natural con *Trachypogon vestitus* convertida a pasturas de *Brachiaria dictioneura* (S-P), en término de cuatro años, 2.- Sabana natural cultivada con una leguminosa *Centrosema macrocarpum* (S-L), cambios producidos en cuatro años, 3.- Bosque Pre-montano transformado a monocultivo de cítricas en suelos inceptisoles (B-Ci), desde hace diez años, 4.- La misma conversión pero en un suelo ultisol (B-Cu), con el mismo tiempo de manejo, 5.- Sabana secundaria producida por la acción del fuego en un bosque de montaña (B-SS), desde hace diez años, 6.- Bosque de montaña transformado en un monocultivo de Pinos (*Pinus caribaea*) (B-Pi), desde hace ocho años y 7.- El mismo bosque de montaña convertido en monocultivo de Eucalipto (*Eucalyptus robusta*) (B-Eu), con el mismo tiempo. En general, los suelos eran arenosos y franco arenosos, ácidos, ricos en aluminios y bajos en la disponibilidad de fósforo y de nitrógeno y con rangos de bajos a altos contenidos de MO en el horizonte superficial del suelo. 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, cada una formada de 10 submuestras al azar, a una profundidad de 0-10 cm. La muestra de suelo fue secada al aire (aproximadamente 25°C) y fue tamizada a través de un tamiz de 2mm para los análisis de fraccionamiento de MO. El contenido de ácidos húmicos (CAH) y ácidos fúlvicos (CAF) fue determinado usando una extracción de 10 g de suelo con una solución de NaOH/Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (Merck) (Schnitzer y Schuppli, 1989). Para separar los ácidos húmicos y fúlvicos y las sustancias no húmicas (CSNH), se usó un medio ácido (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 50%) para precipitar los ácidos húmicos y se usó una columna de polivinilpirrolidona insoluble (Sigma P6755) para purificar los ácidos fúlvicos de las sustancias no húmicas (Ciavatta y Govi, 1993). El Carbono orgánico (CO) fue estimado usando el método de oxidación

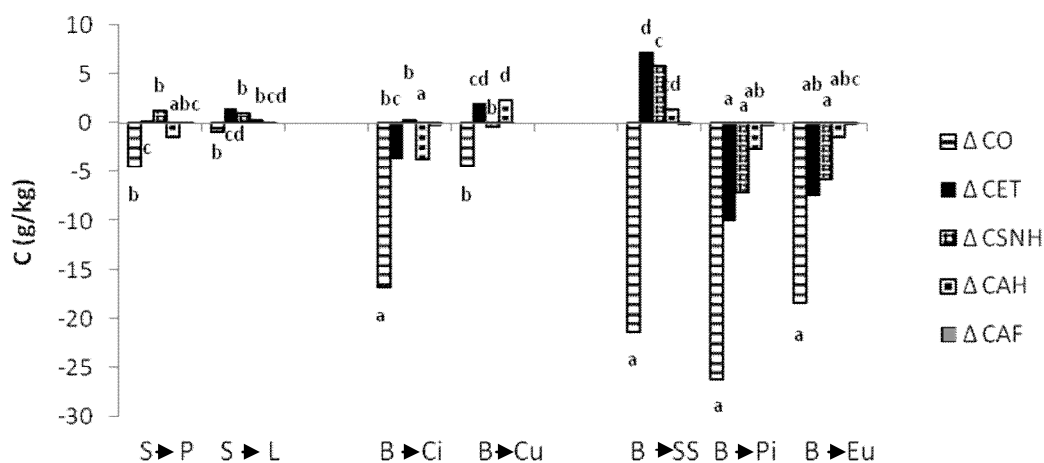
húmeda en cada fracción química obtenida (Anderson e Ingram, 1993). Se determinaron varios índices: i.- De humificación  $IH = \text{CSNH}/\text{CAH} + \text{CAF}$ , ii.- Grado de humificación  $\text{GH} = \text{CAH} + \text{CAF}/\text{CET} * 100$ , iii.- Relación de humificación  $\text{RH} = \text{CAH} + \text{CAF}/\text{CO} * 100$ .

La distribución de macro y microagregados estables al agua, se determinó usando el método de tamizado en húmedo de Yoder modificado (Hernández-Hernández *et al.*, 2002), 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 ( $>250\mu\text{m}$ ) y los microagregados ( $<250\mu\text{m}$ ). A su vez se estimó la distribución de tamaño de partículas según Pla (1983).

Se determinaron coeficientes de correlación de Spearman ( $p \leq 0.05$ ) para relacionar las sustancias húmicas con cambios en la estabilidad estructural del suelo y el tamaño de partícula. Mediante un diseño estadístico completamente aleatorizado con tres repeticiones (parcelas) por ecosistema, se determinaron las diferencias en las fracciones húmicas entre los diferentes usos de la tierra de los ecosistemas considerados, usando un análisis de variancia unifactorial, 95% de probabilidad y la prueba de Duncan (SSPS versión 17).

#### 4. Resultados y discusión

Al comparar las variaciones de las sustancias húmicas entre los diferentes ecosistemas bajo distintos cambios de uso de la tierra (Figura 1), se observa que el uso de las pasturas (S-P) o leguminosas (S-L) en sabanas no afectaron las sustancias húmicas después de cuatro años de establecidas en las sabanas. 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, excepto en el CAF.



**Figura 1.** Variaciones en las sustancias húmicas y no-húmicas de suelos de ecosistemas tropicales por diferentes cambios de uso de la tierra. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los distintos cambios de uso de la tierra por cada fracción húmica. Prueba de Duncan ( $p < 0.05$ ).

El monocultivo de cítricos disminuyó el CO de los bosques pre-montanos, pero incrementó los ácidos húmicos (CAH), especialmente, si esta práctica agrícola es aplicada a un suelo

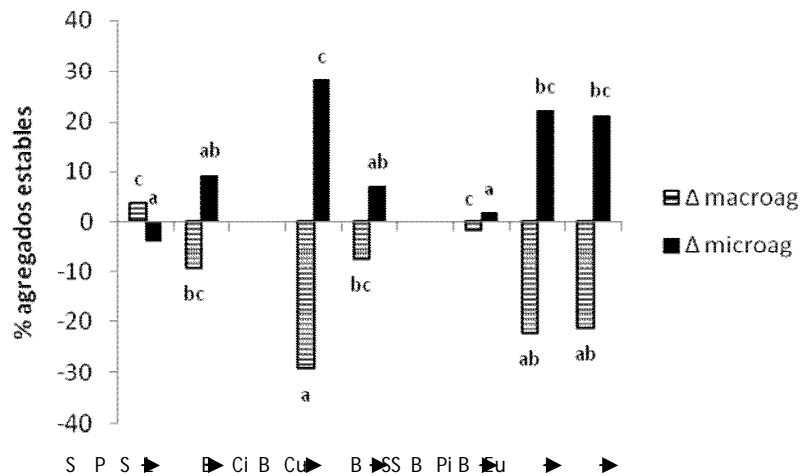
ultisol (B-Cu). Sin embargo, esta fracción (CAH) disminuyó cuando los cítricos son introducidos en un suelo inceptisol (B-Ci), donde el CO mostró un mayor decrecimiento. Las variaciones más altas en CO, CET, CSNH y CAH se observaron en los bosques de montañas cuando los pinos (B-Pi), *Eucalyptus* (B-Eu) son introducidos o cuando ocurren fuegos frecuentes; como en las sabanas secundarias de montaña (SS). El cambio de bosque a sabana secundaria (B-SS) incrementó significativamente el CET, CSNH, CAH, mientras el cultivo de especies arbóreas exóticas disminuyó estas fracciones.

En estos ecosistemas y agroecosistemas tropicales, el CET fue la fracción química dominante de CO, siendo el C de las sustancias no-húmicas (CSNH), seguidas por el CO de los ácidos húmicos (CAH), las principales formas presentes en el CET. En general, los suelos que tuvieron más CSNH tuvieron más altos índices de humificación (IH) y los que tenían más CO mostraron una mayor RH, sucediendo especialmente en suelos de bosques pre-montanos (Tabla 1). Tanto el CO como las fracciones CET, CAH y el CAF estuvieron correlacionados al tamaño de partículas minerales. El contenido de arcilla y limo afectaron positivamente el contenido de CO y el CAF, pero con las arenas estuvieron negativamente correlacionados ( $p < 0.05$ ) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Correlaciones entre fracciones húmicas de CO, índices de humificación y distribución de tamaño de partículas y de fracciones de macro y microagregados. Coeficiente de Pearson  $p < 0.001^{**}$  y  $p < 0.05^*$

	CO	CSNH	CET	CAH	CAF	a	L	A	Ma	Mi
CO		0.59*	0.87*	0.67*	0.57*			0.47**	0.46**	-0.43**
CSNH			0.70*	0.38**					0.48**	-0.42**
CET				0.82*	0.49**			0.37**	0.37**	-0.35**
CAH						0.38**	-0.46**			
CAF						-0.67*	0.64*	0.71*	0.82*	-0.83*
IH		0.71**		-0.39*						
GH		-0.66**								
RH	0.51**	-0.62**						-0.38**	-0.40**	0.39**
AH/AF			0.35*	0.68**	-0.55**	0.76*	-0.82*	-0.31**	-0.51*	0.52*
AF/CO	-0.49**		-0.48*	-0.62**	0.36*	-0.60*	0.60*			
A									-0.61*	0.62*
L									0.56*	-0.57*
A									0.71*	-0.72*

En relación a los cambios en la distribución de macro y microagregados estables al agua (Figura 2), se observa que las menores variaciones se producían cuando la sabana era transformada en un pastizal o sustituida por coberturas de leguminosas. Sin embargo varió la distribución de agregados, aumentando la proporción de microagregados con el tratamiento (S-L) y de macroagregados con (S-P). Los bosque evidenciaron mayores impactos en la estabilidad de los agregados cuando se transforman en agroecosistemas, disminuyendo significativamente la proporción de macroagregados y aumentando los microagregados.



**Figura 2.** Variaciones en la distribución de agregados estables al agua de suelos de ecosistemas tropicales por diferentes cambios de uso de la tierra. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los distintos cambios de uso de la tierra por cada fracción de agregados estables. Prueba de Duncan ( $p < 0.05$ ).

Pocas variaciones en la distribución de los macro y microagregados ocurren cuando el bosque montano se convierte en una sabana secundaria producto del fuego, posiblemente por la masa radical del pastizal que favorece la estabilización de los macroagregados. Aparentemente el impacto de la conversión a uso agronómico o forestal de un bosque montano es mayor que cuando la conversión sucede en una sabana, donde las plantas nativas son sustituidas por plantas herbáceas de una fisionomía y funcionamiento similar.

Las variaciones en las fracciones húmicas están fuertemente correlacionadas ( $p < 0.01$ ) con las observadas en la estabilidad de los macroagregados. En la Tabla 2 se muestra que los cambios de la proporción de macroagregados que ocurren con el cambio de uso de la tierra, se correlacionan positivamente con las variaciones que se producen 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 macroagregados estables y aumenta la de microagregados.

Los cambios en los macroagregados se deben principalmente a variaciones de las sustancias de CO más lábiles y más estables, como las sustancias no húmicas, el CET y los ácidos húmicos (Tabla 2).

## 5. Conclusiones

El cambio de uso de la tierra disminuyó el contenido de MO, tanto en bosques como en sabanas, pero la incidencia fue mayor en el bosque; con tenores entre 20 y 80% de pérdidas. El CET y el CSNH incrementaron ligeramente cuando se transformó la sabana en pastizal, pero disminuyeron cuando el bosque es sustituido por monocultivos de cítricos, pinos o eucaliptus. Dichos manejos afectaron negativamente los ácidos húmicos, más que los ácidos fúlvicos. La proporción de microagregados estables aumentó 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.

**Tabla 2.** Correlación entre las variaciones de macro y microagregados estables y las variaciones de fracciones húmicas de la MO ocasionadas por el cambio de uso de la tierra en sabanas y bosques. Coeficiente de Pearson  $p < 0.001^{**}$  y  $p < 0.05^*$

	CO	CET	CSNH	CAH	Macro	Micro
CO					0.46*	-0.44*
CET	0.43*		0.76**	0.46*	0.52**	-0.52**
CSNH				0.45*	0.47*	-0.48*
CAH					0.46*	-0.44*

## 6. Referencias

- Anderson, J. and J. S. I. Ingram. 1993. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods (2<sup>nd</sup> ed) Wallingford UK. CAB International.
- Ciavatta, C., and M. Govi. 1993. Use of insoluble polyvinylpyrrolidone and isoelectric focusing in the study of humic substances in soils and organic wastes. *J. Chromatography*, 23:261-270.
- Coleman, D.C., Oades, J.M. and G. Uehara. 1989. Dynamic of soil matter in tropical systems- Nifital Project, University of Hawaii. 245 p.
- Hernández-Hernández, R.M. and 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., Florentino, A. 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. *Agronomía Tropical*. 50 (2): 9-29.
- Lozano, Z., Rivero, C., Bravo, C. 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.*, 28:35-56.
- Ruiz, M. y J. Paolini. 2005. Parámetros de humificación en suelos cultivados bajo riego. *Agrochimica*, 49:79-86.
- Schinitzer, M. and P. Schuppli. 1989. Methods for sequential extraction of organic matter from soils and soil fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1418-1424.
- Pla S., I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Alcance. *Revista de la Facultad de Agronomía. UCV. N° 32. Maracay, Venezuela.* 120 p.
- Theng, B.K.; Tate, K.R. and P. Sollins. 1989. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. *In: Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystem* Coleman, D; J. Oades y G. Uehara (eds.). p: 5 – 32. Nifital Projeet. Department of Agronomy and Soil Science. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii. USA.