

## FRACCIONAMIENTO QUÍMICO DE CARBONO ORGÁNICO Y SU RELACIÓN CON LA ACTIVIDAD MICROBIOLÓGICA, BIOMASA MICROBIANA Y CANTIDAD DE ADN EN SUELOS CACAOTEROS VENEZOLANOS

Arnaldo J. Armado M.<sup>a\*</sup>, Froilán Contreras<sup>b</sup>, Pablo García Lugo<sup>b</sup>

### RESUMEN

Se estudió la relación de diferentes parámetros de humidificación con la actividad microbiológica, biomasa microbiana y contenido de ADN en muestras de suelos de tres zonas cacaoteras venezolanas. El fraccionamiento químico se realizó en base a las diferencias de solubilidad de las sustancias húmicas en ácidos y bases, obteniéndose las fracciones carbono extraíble, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y sustancias no húmicas. Los parámetros de humidificación obtenidos son: índice de humidificación, grado de humidificación, razón de humidificación y relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos. La actividad microbiológica correlacionó significativamente con los parámetros de humidificación calculados y el contenido de carbono de las fracciones obtenidas, excepto con la fracción de sustancias no húmicas. El carbono de la biomasa microbiana correlacionó significativamente con el carbono orgánico total, la respiración, el contenido de ADN, la fracción de sustancias no húmicas y la relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos. Los parámetros de humidificación calculados pueden servir como indicadores de la actividad microbiana en los suelos estudiados ya que presentaron correlaciones significativas con la respiración basal de los suelos en estudio.

**Palabras clave:** Parámetros de humidificación, extracción de ADN en suelos, respiración basal, respiración inducida por sustrato.

## CHEMICAL FRACTIONATION OF ORGANIC CARBON AND RELATIONSHIP WITH MICROBIAL BIOMASS, MICROBIAL ACTIVITY AND DNA CONTENT IN VENEZUELAN CACAO SOILS

### ABSTRACT

The relationship between humidification parameters, microbiological activity, microbial biomass and DNA content was studied in soils samples of three Venezuelan Cacao zones. The chemical fractionation has been obtained through solubility differences of humics substances in acids and bases, having obtained the humic acid fractions, fulvic acids and non-humified substances. The humidification parameters obtained were: humidification index, humidification degree, humidification ratio and humic acids/fulvic acids ratio. A significantly correlation were obtained between microbiological activity and calculated humidification parameters and carbon of obtained fractions, except non-humified fraction. A significantly correlation between microbial biomass C and total organic C, DNA content, non-humified fration C, ratio AH/AF were also obtained. It is proposed that humidification parameter may

---

<sup>a</sup> Departamento de Química, Facultad Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Avenida Salvador Allende. Ciudad Universitaria, Valencia, Venezuela. armadoa@uc.edu.ve

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Postgrado BIOMI, Mérida Venezuela.

be use as soil microbial activity indicators due to the excellent correlations achieved in these work between these parameters and soil respiration.

**Key words:** Humification parameters, soil DNA extraction, basal respiration, substrate induced respiration.

## INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un cultivo ligado a la cultura venezolana, tanto por su origen como por su importancia en el desarrollo económico y social del país desde que se estableció su comercialización hace ya más de trescientos cincuenta años. Venezuela llegó a ser el primer productor mundial de cacao, y este producto supuso la fuente principal de ingresos durante un largo periodo de la época colonial. Todavía, a pesar de basar su economía fundamentalmente en el petróleo, el cacao venezolano es reconocido en el ámbito mundial como uno de los mejores del mundo. La calidad del cacao y de cualquier otro cultivo se ve influenciada por el tipo de suelo y los nutrientes que éste pueda proporcionar al cultivo<sup>1</sup>, lo que está íntimamente ligado a la calidad y cantidad de la materia orgánica del suelo (MOS).

Las comunidades microbianas son componentes de la fracción orgánica del suelo, y están asociadas con la fertilidad del suelo, los ciclos biogeoquímicos, la descomposición de adiciones naturales o sintéticas de carbono y la formación estructural y estabilización física de los agregados. Las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como la presencia de plantas, tienen influencia sobre el número y la actividad de las poblaciones microbianas. La cantidad y calidad de materia orgánica del suelo permite hacer inferencias acerca de su fertilidad, así también, para enmiendas orgánicas, podemos evaluar la calidad y cantidad de materia orgánica que se incorpora al suelo en el momento de utilizarlas en un suelo determinado<sup>2</sup>. El contenido de carbono orgánico total frecuentemente está correlacionado con diferentes factores, como la mineralización de materia orgánica, biomasa microbiana y la actividad enzimática en suelos, entre otros<sup>3</sup>.

La fracción orgánica del suelo, también llamada humus, ha sido clasificada desde diversos puntos de vista. Atendiendo a su composición química, hay clasificaciones que hacen énfasis en la constitución de los compuestos del humus y en su comportamiento desde el punto de vista físico-químico. Estas clasificaciones de los compuestos orgánicos se hacen esencialmente basadas en la solubilidad de esos constituyentes en distintos solventes dando como resultado la distinción de *ácidos fúlvicos*, *ácidos húmicos* y *huminas*. Los *ácidos fúlvicos* son la fracción del humus extraíble tanto en reactivos ácidos como alcalinos y no precipitables en medio ácido, pudiendo distinguirse ácidos fúlvicos libres y ácidos fúlvicos ligados a los ácidos húmicos. Los *ácidos húmicos* son los compuestos orgánicos, extraíbles con reactivos alcalinos pero que se precipitan en medio ácido, lo que hace posible su separación de los ácidos fúlvicos. Las *huminas*, representan la fracción que solamente es extraíble con hidróxido de sodio en caliente y que se considera difícilmente mineralizable e íntimamente ligada a los coloides minerales<sup>4, 5</sup>. En base a este fraccionamiento se han planteado diferentes índices o parámetros de humidificación. Entre ellos: el índice de humidificación (IH), grado de humidificación (GH), razón de humidificación (RH) y relación de carbono de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos ( $C_{AH/AF}$ )<sup>4,6,7</sup>.

Un conocimiento más preciso del contenido de materia orgánica y su calidad, así como de la diversidad microbiana del suelo, podría contribuir en la formulación de mejores modelos técnicos de manejo de las plantaciones de cacao<sup>8</sup>. Esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de realizar el fraccionamiento químico del carbono orgánico en muestras de suelos de tres zonas cacaoteras en Venezuela, determinar diferentes parámetros de humidificación y correlacionarlos con la actividad microbológica, la biomasa microbiana y el contenido de ADN en el suelo.

## PARTE EXPERIMENTAL

**Muestreo y preparación de las muestras.** La toma de muestras se realizó en tres zonas cacaoteras del occidente venezolano, a saber:

- Zona 1 (SJ): Estación Experimental San Juan de Lagunillas INIA-Mérida (ubicada a 8°30' latitud norte, 71°20' longitud oeste, 1100 msnm, Temperatura promedio anual 28,6°C).
- Zona 2 (FP): Finca El Pedregal, Tucaní, Estado Mérida (ubicada a 8°50' latitud norte, 71°23' longitud oeste, 700 msnm, temperatura promedio anual 28,6°C, precipitación promedio anual 1969,6 mm, bosque húmedo tropical, superficie de 125 ha). Tipo de suelo Entisol, textura arenosa<sup>9,10</sup>.
- Zona 3 (CH): Estación Experimental Chama INIA-Zulia (ubicada a 8°43' latitud norte, 71°44' longitud oeste, 10 msnm, temperatura promedio anual 26°C, precipitación promedio anual 1743,1 mm, bosque seco tropical, superficie 6)<sup>11</sup>.

Utilizando un barreno, se recolectaron en bolsas plásticas (polietileno) muestras compuestas (aproximadamente de 2 kg) de 4 sub-muestras, tomadas al azar entre 0-10 cm de profundidad, en cada parcela.

Para la determinación de carbono orgánico total y parámetros de humidificación, las muestras de suelo se secaron al aire durante 72 h, luego se realizó la molienda y se pasaron a través de un tamiz de 2 mm. Se almacenaron en recipientes con tapa a temperatura ambiente. En la determinación de  $C_{\text{BIO MIC}}$ , actividad microbiológica y extracción de ADN, las muestras frescas se extendieron sobre un plástico limpio y seco, se les retiró el material grueso (piedras, hojas, tallos, raíces), luego se tamizaron y se almacenaron a -20°C<sup>12</sup>.

**Cuantificación de la materia orgánica.** El carbono orgánico total se determinó en las muestras de suelo utilizando el método colorimétrico basado en la oxidación de la materia orgánica con dicromato de potasio<sup>13</sup>. El carbono de cada fracción de materia orgánica (CE, AH, AF, NH) se determinó por el mismo método.

**Fraccionamiento de carbono orgánico.** La extracción del carbono orgánico en las muestras de suelo se realizó con una solución de pirofosfato-hidróxido de sodio,<sup>7,8</sup> siendo este el carbono extraíble (CE); posteriormente, de acuerdo al método propuesto por Ciavatta y col.<sup>9</sup>, se llevó a cabo el fraccionamiento basado en la diferencia de solubilidad de las sustancias húmicas en ácidos y bases, obteniéndose dos fracciones: ácidos húmicos (AH), y ácidos fúlvicos (AF) más sustancias no húmicas (NH). Las fracciones de AF y NH se separaron mediante una columna de polivinilpirrolidona (PVP). Los parámetros de humificación que se determinaron fueron: índice de humidificación (IH), grado de humificación (GH), razón de humidificación (RH) y relación ácidos húmicos/ácidos fúlvicos (AH/AF).

**Actividad microbiológica y biomasa microbiana.** Se determinó la actividad microbiológica del suelo mediante la cuantificación del desprendimiento de CO<sub>2</sub> producto de la actividad de los microorganismos, usando el método de incubaciones estáticas<sup>14</sup>, siguiendo el procedimiento descrito por Anderson<sup>15</sup>. El carbono de la biomasa microbiana ( $C_{\text{BIO MIC}}$ ) se determinó por el método de la respiración inducida por sustrato, RIS<sup>16</sup>.

**Extracción de ADN.** La extracción de ADN se realizó mediante una modificación del método empleado por Yeates y col.<sup>17</sup> usando perlitas de vidrio y SDS (método mecánico-químico) para la ruptura celular seguida por una doble extracción, primero con una mezcla ternaria fenol/cloroformo/alcohol isoamílico (24:24:1), y luego una mezcla binaria cloroformo/alcohol isoamílico (24:1). Se precipitó el ADN incubándolo con alcohol isopropílico a -20°C, 2 h. El ADN se cuantificó midiendo la absorbancia a una de 260 nm.

**Análisis estadístico.** Se obtuvo el promedio de cada variable y su desviación estándar; se

determinó la correlación lineal entre las variables utilizando el coeficiente lineal de Pearson ( $r$ ) y se calculó el error estándar de  $r$  para determinar su significancia. Todos los análisis se realizaron utilizando Microsoft Office Excel 2007.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Parámetros fisicoquímicos, carbono orgánico y fraccionamiento químico.

Los valores determinados de pH, CE, CIC, y textura se presentan en la tabla 1. El pH de las muestras de San Juan (SJ) fue de  $7,8 \pm 0,5$  ligeramente alcalino, para las de Chama (CH) y la Finca Pedregal (FP) resultó un pH ácido de  $4,9 \pm 0,4$  y  $4,1 \pm 0,2$ , respectivamente. La conductividad eléctrica en las muestras de SJ fue de  $573 \pm 243$  S  $\text{cm}^{-1}$  algo mayor que en las muestras de CH y FP que fue de  $241 \pm 87$  y  $245 \pm 46$  S  $\text{cm}^{-1}$ . La CIC resultó similar en las tres zonas siendo de  $35 \pm 4$ ,  $35 \pm 5$  y  $25 \pm 5$   $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$  de suelo seco en SJ, CH y FP, respectivamente. De los parámetros fisicoquímicos determinados hubo diferencias significativas entre el pH y la CE para las tres zonas en estudio. Según Vera y col.<sup>9</sup> estas diferencias fundamentalmente se deben al tipo de suelo de cada zona, ya que en los suelos de los andes venezolanos, los materiales parentales poseen gran influencia sobre sus características físicas y químicas.

El  $C_{\text{org total}}$  resultó de  $33 \pm 3$   $\text{gC kg}^{-1}$  de suelo seco en la zona SJ, siendo el mayor valor comparado con las otras dos zonas, en FP fue de  $18 \pm 6$   $\text{gC kg}^{-1}$  y en CH de  $10 \pm 2$   $\text{gC kg}^{-1}$ .

Los valores de carbono extraíble obtenidos fueron de  $3,4 \pm$   $\text{gC kg}^{-1}$ ,  $5,8 \pm$   $\text{gC kg}^{-1}$  y  $10,7 \pm$   $\text{gC kg}^{-1}$ , respectivamente en las tres zonas, SJ, CH y FP. Se observa que en los suelos de FP, por ser de textura arenosa, se obtuvo el mayor valor de CE, seguido de CH que posee textura franca y, por último, los valores de SJ fueron los menores, y se debe a su textura franco-arcillosa (tabla 1). Está reportado que en suelos arenosos la interacción de la materia orgánica con la fracción mineral (inorgánica) de los suelos es mucho menor que en suelos arcillosos<sup>18</sup>; por lo tanto, la extracción de materia orgánica se facilita en las muestras de suelo de la finca Pedregal.

**Tabla 1.** Parámetros fisicoquímicos de las muestras de suelo.

ZONA	pH	Conductividad	Capacidad de Intercambio	Textura
		Eléctrica $\mu\text{S cm}^{-1}$	Catiónico (CIC) $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$	
SJ	$7,8 \pm 0,5^a$	$573 \pm 243^a$	$35 \pm 4^a$	Franco arcillosa
FP	$4,1 \pm 0,2^b$	$245 \pm 46^b$	$25 \pm 5^b$	Arenosa
CH	$4,9 \pm 0,4^c$	$241 \pm 87^b$	$35 \pm 5^{a,b}$	Franca

En una misma columna, valores con la misma letra no poseen diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

Brito<sup>4</sup> reporta una clara agrupación de suelos en base a los tipos de sustancias húmicas que presentan, y señala que las relaciones AH/AF muestran buena correlación con el tipo de evolución de los suelos. Así, se ve que los suelos de mayor evolución, presentan una relación AH/AF mayor a la unidad, con un intervalo de variación de 1,15 a 2,0. En suelos menos evolucionados esta relación es inferior a la unidad, en un intervalo de 0,36 a 0,53<sup>4</sup>. Según los

valores obtenidos para la relación AH/AF, los suelos de SJ y FP son más evolucionados ya que presentan valores de  $1,1\pm 0,1$  y  $1,4\pm 0,4$ , respectivamente. En caso de CH tiene un valor de  $0,5\pm 0,1$ .

El índice de humidificación,  $NH/(AH+AF)$ , puede ser considerado como un valor útil para determinar si un suelo o enmienda orgánica posee altos contenidos de material humificado o, por el contrario, predomina la materia no humidificada. Así, los primeros dan valores cercanos a cero y los otros, incrementan el valor de esta relación marcadamente<sup>6</sup>. Por otra parte, los valores del grado de humidificación y la razón de humificación, reflejan porcentajes del material humificado (AH+AF) con relación al carbono extraíble y el carbono orgánico total del suelo, respectivamente. Valores elevados de estos parámetros indican también un alto contenido de material humificado<sup>6</sup> (tabla 2).

**Tabla 2.** Carbono orgánico total y fraccionamiento en muestras de suelos cacaoteros.

	C <sub>ORG TOTAL</sub> *	C <sub>EXTR</sub> *	C <sub>AH</sub> *	C <sub>AF</sub> *	C <sub>NH</sub> *
SJ-1	34	3,0	0,7	0,6	1,7
SJ-2	29	3,2	0,7	0,8	1,7
SJ-3	33	3,3	1,1	0,9	1,4
SJ-4	36	4,0	1,0	0,9	2,1
<b>PROMEDIO SJ</b>	<b>33±3</b>	<b>3±1</b>	<b>0,9±0,2</b>	<b>0,8±0,2</b>	<b>1,7±0,3</b>
CH-1	12	4,1	0,8	1,4	1,9
CH-2	9	4,9	0,9	1,4	2,6
CH-3	10	5,3	0,9	1,7	2,7
CH-4	10	6,1	1,1	1,8	3,2
CH-5	10	7,9	0,6	2,1	5,3
CH-6	7	6,7	0,7	1,6	4,4
<b>PROMEDIO CH</b>	<b>10±2</b>	<b>6±2</b>	<b>0,8±0,2</b>	<b>1,7±0,3</b>	<b>3±1</b>
FP-1	25	12,2	5,0	3,4	3,7
FP-2	25	13,0	6,2	3,1	3,7
FP-3	13	9,7	2,9	2,9	3,9
FP-4	15	9,5	3,4	2,4	3,7
FP-5	14	10,9	2,9	2,8	4,7
FP-6	13	9,1	3,4	2,5	3,7
<b>PROMEDIO FP</b>	<b>18±6</b>	<b>11±3</b>	<b>4±2</b>	<b>2,8±0,5</b>	<b>3,9±0,6</b>

\* Expresado en g C/Kg suelo sec

**Tabla 3.** Parámetros de humificación en muestras de suelos cacaoteros.

	$C_{AH}/C_{AF}$	IH	GH (%)	RH (%)
SJ-1	1,1	1,3	44,0	4,7
SJ-2	1,0	1,1	46,8	6,2
SJ-3	1,3	0,7	58,8	7,0
SJ-4	1,1	1,1	48,5	5,4
<b>PROMEDIO SJ</b>	<b>1,1±0,1</b>	<b>1,0±0,1</b>	<b>50±6</b>	<b>6±1</b>
CH-1	0,5	0,9	53,5	18,4
CH-2	0,6	1,1	47,7	25,8
CH-3	0,5	1,0	49,0	25,9
CH-4	0,6	1,1	47,4	28,7
CH-5	0,3	2,0	33,3	26,2
CH-6	0,4	1,8	35,2	32,8
<b>PROMEDIO CH</b>	<b>0,5±0,1</b>	<b>1,3±0,5</b>	<b>44±6</b>	<b>26±5</b>
FP-1	1,5	0,4	69,4	70,5
FP-2	2,0	0,4	71,2	77,0
FP-3	1,0	0,7	59,6	48,2
FP-4	1,4	0,6	61,0	48,2
FP-5	1,2	0,8	56,6	51,5
FP-6	1,1	0,7	59,7	45,1
<b>PROMEDIO FP</b>	<b>1,4±0,4</b>	<b>0,6±0,2</b>	<b>63±6</b>	<b>57±13</b>

Según los parámetros de humidificación obtenidos (tabla 3), se observa que el suelo de FP posee mayor contenido de material humidificado; en segundo lugar, el suelo de SJ y el suelo de CH posee la menor cantidad de material humidificado. Sin embargo, los valores de RH en los suelos de SJ son muy bajos, ya que el material extraíble fue muy poco respecto al carbono orgánico total presente en el suelo, como se señaló anteriormente. Esto nos indica que para suelos arcillosos o franco-arcillosos la RH no proporciona valores adecuados, ya que la extracción de carbono orgánico no es muy eficiente, con el procedimiento empleado.

**Tabla 4.** Parámetros biológicos en muestras de suelos cacaoteros de Venezuela.

	Respiración Basal (mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	Biomasa Microbiana (mg C-CO <sub>2</sub> 100g <sup>-1</sup> )	Contenido de ADN (µg ADN g <sup>-1</sup> )
SJ-1	6,6	7,33	960
SJ-2	5,5	10,04	988
SJ-3	6,6	10,72	985
SJ-4	7,1	12,07	985
<b>PROMEDIO SJ</b>	<b>6,5±0,7</b>	<b>10±2</b>	<b>980±13</b>
CH-1	1,4	2,58	733
CH-2	1,7	1,22	1040
CH-3	1,3	1,22	730
CH-4	3,2	1,90	815
CH-5	1,0	1,22	712
CH-6	1	2,58	802
<b>PROMEDIO CH</b>	<b>1,6±0,8</b>	<b>1,8±0,7</b>	<b>805±122</b>
FP-1	10,8	7,24	1112
FP-2	9,4	5,60	1028
FP-3	7,6	3,95	773
FP-4	6,6	2,30	604
FP-5	8,2	4,77	948
FP-6	8,2	6,42	1106
<b>PROMEDIO FP</b>	<b>8±1</b>	<b>5±2</b>	<b>929±202</b>

**Actividad microbiológica, biomasa microbiana y contenido de ADN.**

El carbono mineralizado, en forma de CO<sub>2</sub> resultó mayor para las muestras de FP y SJ. En CH el valor más bajo (tabla 4). Estos valores indican que la actividad microbiológica de los suelos de FP y SJ fue mayor que en los de CH.

El carbono de la biomasa microbiana resultó mayor para las muestras de SJ, seguidas por las muestras de FP, siendo los menores valores para las muestras de CH.

En el caso del contenido de ADN, no se observaron diferencias significativas entre las tres zonas, sin embargo para CH dio valores ligeramente menores. Estos resultados pueden deberse a la contaminación con sustancias húmicas, que son comúnmente co-extraídas con el ADN e interfieren en la cuantificación espectrométrica del ADN<sup>16</sup>.

### Correlación de los parámetros de humidificación con la actividad microbiológica, biomasa microbiana y contenido de ADN.

Los resultados indican que los cuatro parámetros de humidificación calculados correlacionan significativamente ( $p < 0,05$ ) con la respiración basal de los suelos en estudio. Además, la respiración basal correlacionó significativamente ( $p < 0,05$ ) con el contenido de  $C_{\text{BIO MIC}}$ ,  $C_{\text{ORG TOTAL}}$ , contenido de ADN y las fracciones CE, AH y AF. En general, el carbono orgánico presenta relación con la actividad microbiana y observamos una correlación significativa entre  $C_{\text{ORG TOTAL}}$  y la respiración basal ( $p < 0,01$ ); sin embargo, la relación  $C_{\text{AH}}/C_{\text{AF}}$  resultó con una correlación más significativa, lo que sugiere que esta relación sería un mejor indicador de la actividad microbiana de los suelos en estudio. De los parámetros de humidificación calculados, el carbono de la biomasa microbiana y el contenido de ADN sólo correlacionaron significativamente con la relación AH/AF. El  $C_{\text{BIO MIC}}$  correlacionó significativamente ( $p < 0,05$ ) con el  $C_{\text{ORG TOTAL}}$ , la respiración, el contenido de ADN y el carbono de las sustancias no húmicas. El contenido de ADN correlacionó significativamente ( $p < 0,05$ ) con el  $C_{\text{ORG TOTAL}}$ , la respiración, y el  $C_{\text{BIO MIC}}$  (tabla 5).

**Tabla 5.** Coeficiente lineal de Pearson para los diferentes parámetros en estudio.

	$C_{\text{EXTR}}$	$C_{\text{AH}}$	$C_{\text{AF}}$	$C_{\text{NH}}$	$C_{\text{AH}}/C_{\text{AF}}$	IH	GH	RH	RESP. BASAL	CONT. ADN	$C_{\text{BIO MIC}}$
$C_{\text{ORG TOTAL}}$	-0,26	0,08	-0,37	<b>-0,60<sup>b</sup></b>	<b>0,56<sup>b</sup></b>	-0,28	0,25	-0,27	<b>0,57<sup>b</sup></b>	<b>0,50<sup>c</sup></b>	<b>0,91<sup>a</sup></b>
$C_{\text{EXTR}}$		<b>0,88<sup>a</sup></b>	<b>0,97<sup>a</sup></b>	<b>0,77<sup>a</sup></b>	<b>0,53<sup>c</sup></b>	<b>-0,44<sup>c</sup></b>	<b>0,60<sup>b</sup></b>	<b>0,97<sup>a</sup></b>	<b>0,54<sup>c</sup></b>	0,09	-0,23
$C_{\text{AH}}$			<b>0,84<sup>a</sup></b>	0,40	<b>0,82<sup>a</sup></b>	<b>-0,73<sup>a</sup></b>	<b>0,86<sup>a</sup></b>	<b>0,92<sup>a</sup></b>	<b>0,77<sup>a</sup></b>	0,33	0,08
$C_{\text{AF}}$				<b>0,75<sup>a</sup></b>	<b>0,42<sup>c</sup></b>	<b>-0,47<sup>c</sup></b>	<b>0,61<sup>b</sup></b>	<b>0,97<sup>a</sup></b>	<b>0,47<sup>c</sup></b>	0,04	-0,31
$C_{\text{NH}}$					-0,04	0,18	-0,02	<b>0,65<sup>b</sup></b>	0,04	-0,24	<b>-0,52<sup>c</sup></b>
$C_{\text{AH}}/C_{\text{AF}}$						<b>-0,79<sup>a</sup></b>	<b>0,84<sup>a</sup></b>	<b>0,57<sup>b</sup></b>	<b>0,90<sup>a</sup></b>	<b>0,46<sup>c</sup></b>	<b>0,50<sup>c</sup></b>
IH							<b>-0,97<sup>a</sup></b>	<b>-0,56<sup>b</sup></b>	<b>-0,74<sup>a</sup></b>	-0,36	-0,29
GH								<b>0,70<sup>a</sup></b>	<b>0,78<sup>a</sup></b>	0,36	0,25
RH									<b>0,53<sup>c</sup></b>	0,13	-0,27
RESP. BASAL										<b>0,57<sup>b</sup></b>	<b>0,61<sup>b</sup></b>
CONT. ADN											<b>0,62<sup>b</sup></b>

<sup>a</sup> ( $p < 0,001$ ); <sup>b</sup> ( $p < 0,01$ ); <sup>c</sup> ( $p < 0,05$ )

### CONCLUSIONES

Los parámetros de humidificación calculados pueden servir como indicadores de la actividad microbiana en los suelos estudiados ya que presentaron correlaciones significativas con la respiración basal. De estos parámetros, la relación de carbono AH/AF resultó el mejor indicador de la actividad microbiológica, ya que presenta la mayor correlación con la respiración basal, biomasa microbiana y cantidad de ADN.

El contenido de ADN no es confiable como indicador de la actividad microbiológica de un suelo, debido a que la cuantificación se realiza basada en una extracción no selectiva. Se deben realizar nuevas mediciones para corroborar las correlaciones obtenidas y plantear un índice de actividad microbiológica en los suelos cacaoteros estudiados, que constituya una herramienta para recomendaciones en las técnicas de manejo empleadas en diferentes suelos agrícolas.

### AGRADECIMIENTO

Estación Experimental San Juan de Lagunillas, INIA-Mérida; Estación Experimental Chama, INIA-Zulia y Finca Pedregal, Tucaní, Estado Mérida.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Foth, H. D. and Turk, L. M. Fundamentos de la ciencia del suelo. Compañía Editorial Continental. México; 1975.
2. Sarmiento, L. and Bottner, P. Carbon and nitrogen dynamics in two soils with different fallow times in the high tropical Andes: indications for fertility restoration. *Appl. Soil Ecol.* 2002; **19**: 79-89.
3. Gianfreda, L. and Bollag, J. M. Influence of natural and anthropogenic factors on enzyme activity in soil. En: *Soil Biochemistry*, vol. 9 (Eds. Stolzky, G. y Bollag, J. M.) Marcel Dekker, Inc., New York; 1996. p. 123-193.
4. Brito, J. G. Caracteres de la materia orgánica de algunos suelos del estado Yaracuy. *Agron. Trop.* 1975; **26**(4), 337-351.
5. Tonelli, D.; Seeber, R.; Ciavatta, C and Gessa, C. Extraction of humic acids from a natural matrix by alkaline pyrophosphate. Evaluation of the molecular weight of fractions obtained by ultrafiltration. *Fresenius J. Anal. Chem.* 1997; **359**: 555-560.
6. Sequi, P.; Nobili, M. De; Leita, L. and Cercignani, G. A new index of humification. *Agrochim.* 1986; **30**(1-2): 175-179.
7. Ciavatta, C.; Antisari, L.; and Sequi, P. Humification Parameters of Organic Materials Applied to soil. En: *Humic substance in the aquatic and terrestrial environment* (Allard, B.; Boren, H. and Grimvalt, A. eds.) Lectures notes in Earth Sciences. Springer Verlag, Berlin; 1991. p. 177-185.
8. Jaimes, R. E. Dinámica de nutrientes en agro-ecosistemas de cacao (*Theobroma cacao*) con frutales en el Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. [Tesis de maestría no publicada] Mérida, Venezuela. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes; 1997.
9. Vera, M.; Rosales, H. y Ureña, N. Caracterización físico-química de suelos cacaoteros de la zona sur del lago de Maracaibo, Venezuela. *Rev. Geog. Ven.* 2000; **41**(2): 257-270.
10. Urdaneta G., L. M. y Delgado A., A. E. Identificación de la microbiota del filoplanio del cacaotero (*Theobroma cacao* L.), en el municipio Carraciolo Parra Olmedo, estado Mérida, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 2007; **24**: 47-68
11. Portillo, E.; Graziani de Farinas, L. y Betancourt E. Efecto de los Tratamientos post-cosecha sobre la Temperatura y el Índice de Fermentación en la calidad del cacao criollo Porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el Sur del Lago de Maracaibo. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 2005; **22**: 388-399.
12. Frostergård, Å.; Bååth, E. and Tunlid, A. Shifts in the structure of soil microbial communities in limed forests as revealed by phospholipid fatty acid analysis. *Soil Biol. Biochem.* 1993; **25**, 723-730.

13. Walkley, A. y Black, I. An examination of the Degtjaeff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 1934; **37**: 29-38.
14. Stotzky, G. Microbial respiration. En: *Methods of Soil Analysis*. Part 2 (Black, C.; Evans, D.; Ensminger, L.; White, J. and Clark, F., editores). American society of Agronomy, Madison, USA; 1965. p. 1550-1572.
15. Anderson, J. P. Soil respiration. En: *Methods of soil analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. (A.L. Page, R H. Miller and D.R. Keeney eds.) Soil Science Society of America Number 9. SSSA, Madison, Wisconsin, USA; 1982. p. 831-871.
16. Anderson, J. P. and Domsch, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 1978; **10**, 215-221.
17. Yeates, C.; Gillings, M. R.; Davison, A. D.; Altavilla, N. and Veal, D. A. Methods for microbial DNA extraction from soil for PCR amplification. *Biologic. Procedur. Online* 1998, **1(1)**: 41-47.
18. Jenkinson, D. S. Soil organic matter and its dynamics. In: Wild, A. (Ed.) *Russel's soil conditions and plant growth*. 11<sup>th</sup> ed. Longman. New York, USA; 1988. p. 564-607.