

Fraccionamiento de metales y materia orgánica en un suelo de la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela

Yudith Acosta¹, Jorge Paolini², Saúl Flores³, Maziad El Zauahre¹, Nicolás Reyes¹ y Hendrina García¹

¹Universidad del Zulia. Núcleo Punto Fijo. Laboratorio de Investigaciones y Servicios Ambientales de LUZ Punto Fijo. ²Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).

³Centro de Ecología. Laboratorio de Ecología de Suelos II.

E-mail: yacosta@ivic.ve; jpaolini@ivic.ve

Resumen

Los suelos de las regiones semi-áridas de Venezuela están sujetos a una progresiva degradación como resultado de la erosión, disminuyendo consecuentemente su nivel de fertilidad. Un suelo franco-arenoso de la península de Paraguaná, Estado Falcón, fue evaluado mediante la determinación de algunos parámetros químicos de interés agronómico y las diferentes fracciones de metales pesados, contenido total y extraíble empleando soluciones de ácido dietilén-triamin pentaacético (DTPA) y agua destilada. También se efectuó el fraccionamiento de la materia orgánica a fin de calcular los parámetros de humificación. El estudio indicó porcentajes muy bajos en el contenido de Carbono Orgánico Total (COT)= 0,64% y Nitrógeno Total (N)= 0,06%. Además se obtuvieron valores de $p = 8,06$; Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)= 6,91 cmol kg⁻¹; Fósforo Disponible (P)= 32,01 μg g⁻¹; Potasio Total (K)= 4%; Magnesio Total (Mg) = 0,36% y Calcio Total (Ca)= 10,77%; los cuales son valores comunes en suelos de esta naturaleza. La determinación del contenido de algunos metales dio como resultado que el hierro, manganeso y zinc (Fe, Mn y Zn) se encontraron en mayor concentración, tanto el contenido total: 19999; 198 y 37,3 mg kg⁻¹; como el extraíble con DTPA: 5,4; 9,6 y 1,5 mg kg⁻¹ y con agua: 60,1; 4,54 y 4 mg kg⁻¹ respectivamente. El índice de humificación, calculado con las fracciones de ácidos húmicos, fúlvicos y sustancias no húmicas (IH= NH/AF+AH) resultó ser 0,65 (<1) y el grado de humificación (GH) 60,6%; indicando para este suelo, un alto contenido de C humificado y mayor nivel de estabilidad de su materia orgánica.

Palabras clave: Fraccionamiento, metales, materia orgánica, suelo de Paraguaná.

Fractioning of Metals and Organic Matter in a Soil of the Peninsula of Paraguaná, Falcón State, Venezuela

Abstract

The soils of semiarid regions of Venezuela are subject to a progressive degradation as result of the erosion, diminishing consistently the levels of fertility. A loam-sandy soil of the semi-arid region of Venezuela, peninsula of Paraguaná in Falcon State, was evaluated by determination of some chemical parameters of agronomic interest, different fractions of heavy metals, the total content and extracted using dietilen triamin pentaacetic acid (DTPA) and water. Also, the fractioning of the organic matter took place in order to calculate the humification parameters. The study indicated very low percentages in the content of COT= 0,64% and Total N= 0,06%; besides: pH= 8,06; CIC= 6,91 cmol kg⁻¹; available P= 32,01 µg g⁻¹; total K= 4%; total Mg= 0,36% and total Ca=10,77%; common values in soils of this nature. The determination of the content of some metals gave like result that Fe, Mn and Zn in more concentration for the three fractions (total: 19999; 198 and 37,3 mg kg⁻¹ / extracted with DTPA: 5,4; 9,6 and 1,5 mg kg⁻¹ and hydrosoluble: 60,1; 4,54 and 4 mg kg⁻¹ respectively). The humification index calculated with the fractions of humics, cfulvics acids and nonhumics substances (IH= NH/AF+AH) turned out to be 0,65 (<1) and the humification degree 60,6%; indicating a high content of C humified and more stability of organic matter.

Key words: Fractioning, metals, organic matter, soil of Paraguaná.

Introducción

Los suelos en las zonas áridas y semi-áridas, típicamente, presentan un contenido bajo de materia orgánica [20] [21]; en Venezuela estas zonas están ubicadas principalmente en los estados Falcón, Lara, Sucre y Anzoategui. [31]. El contenido de agua es un factor dominante en la regulación de las actividades biológicas y consecuentemente en el contenido de materia orgánica en estas regiones, lo cual influye sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo [34]. La necesidad de conocer el estado natural y las propiedades de este suelo conducen a evaluar en el mismo, además de las características químicas que son de interés agronómico y las diferentes fracciones de metales, los parámetros de humificación que permiten estimar el nivel de estabilidad de su materia orgánica.

Materiales y Métodos

Para el estudio, se utilizó el Horizonte A de un Aridisol Calciorthids/ Camborthids (suelos medios, poco profundos), ubicado en el Sector "El Taparo", al noreste de la ciudad de Punto Fijo, Península de Paraguaná. Estado Falcón. Esta región semi-árida, está ubicada al sur de la península, a 11°47' latitud norte - 70°08' longitud oeste a una altitud: <50 msnm; con una precipitación anual entre 300 y 600 mm y una temperatura media de 27°C. El relieve es predominantemente plano con basamento geológico constituido por calizas y rocas arcillosas calcáreas. La vegetación dominante está constituida por cujíes (*Prosopis juliflora*) y cardones (*Bastaria viscosa*); de tipo fisonómico siempre-verde espinoso [9].

El suelo natural (no intervenido) fue muestreado en un área de 3200 m² aproximadamente, dividida en ocho unidades de 400 m² y a una profundidad de 0-15 cm. Se obtuvieron cinco (5) submuestras de igual volumen y se formó una muestra compuesta uniforme para cada unidad. Estas muestras fueron secadas al aire y pasadas a través de un tamiz de 2 mm. La Tabla 1 resume los métodos y técnicas de referencia para los diferentes parámetros evaluados. Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos II, Centro de Ecología del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).

Los parámetros de humificación se calcularon determinando las diferentes fracciones de materia orgánica (C orgánico de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y sustancias no húmicas) empleando el método de Sequi *et al.* (1986) [39]. Para el análisis de los resultados se aplicó estadística básica, usando el paquete estadístico STATISTICA. Versión 6.0.

Resultados y Discusión

La Tabla 2 muestra los valores promedios encontrados en la caracterización físico-química general del suelo. Este suelo de Paraguaná entra en la categoría de suelos alcalinos con un pH 8 (no salinos, no sódicos) con un valor de CE de 0,09 dS m⁻¹ (<<4) y cumpliendo una relación de dominancia de cationes intercambiables: Ca⁺² > Mg⁺² > Na⁺. La relación de adsorción de sodio (RAS = $[Na^+ / \sqrt{[Ca^{+2}] + [Mg^{+2}]}] / 2$) fue igual a 4, lo que indica que este suelo no tiene problemas con sodio (RAS < 10) [8]; de hecho el contenido de sodio intercambiable en este suelo resultó ser mucho más bajo [0,06 cmol kg⁻¹] que el reportado para el suelo franco arcilloso en Valencia. España [7] identificado en la tabla 3, con un valor de 17,02 cmol kg⁻¹; aunque se conocen valores mucho más altos, hasta de 290,2 cmol kg⁻¹, indicado para un suelo calcáreo franco ar-

Tabla 1. Resumen de los métodos y técnicas empleados en la determinación de los parámetros para la caracterización físico-química del suelo.

Parámetro	Método/ Técnica	Ref.
Textura (suelo)	Bouyoucos / Granulometría	[18]
Humedad (%)	Gravimétrico: 10 g de muestra a temperatura de 105°C durante 1 hora.	[18]
pH	Potenciométrico con electrodo de vidrio combinado: 10 g muestra en 25 mL H ₂ O	[18]
CE (dS*m ⁻¹)	Conductimétrico: 10 g de muestra en 25 mL de H ₂ O	[18]
COT y MO (%)	Walkley-Black modificado. Espectrofotometría visible: λ=600 nm	[25]
P Total (%) y P Disponible (μg kg ⁻¹)	Azul de molibdeno. P disponible: Extracción por Olsen Espectrofotometría Visible λ=882 nm	[28] [34]
N Inorgánico Extraíble: (NO ₃ ⁻) (NH ₄ ⁺) (μg kg ⁻¹)	Extracción con K ₂ SO ₄ 0,5 M. Espectrofotometría → (NO ₃ ⁻): UV λ= 410 nm; (NH ₄ ⁺): Visible; λ=655 nm	[26] [4]
N Total (%)	Kjeldahl / Destilación / alcalimetría	[18]
K, Ca, Mg y Na intercambiables y CIC (cmol *kg ⁻¹)	Extracción con CH ₃ COONH ₄ 1N de pH=7 / Espectrofotometría de Absorción Atómica	[18]
Metales Totales: K, Ca, Mg, Na, Ag, Al, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V y Zn (mg kg ⁻¹)	Digestión: 0,05 a 0,2 g de muestra +12 mL HNO ₃ concentrado (180°C / 2 horas) + 5 mL HClO ₄ . Espectrofotometría de Emisión de Plasma (Perkin-Elmer ICP / 5500).	[13]
Metales Extraíbles con DTPA y H ₂ O: Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn (mg kg ⁻¹)	Extracción con una solución 0,005M de Ácido Dietilén-triamin-pentaacético (DTPA) (1:20). Extracción con H ₂ O destilada (1:50). Espectrofotometría de Emisión de Plasma (Perkin-Elmer ICP / 5500).	[29] [14] [30]

CE: Conductividad Eléctrica

COT: Carbono Orgánico Total

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

MO: Materia Orgánica

Tabla 2. Caracterización físico-química del suelo (valor \pm desviación estándar; n= 8).

Parámetro	Valor
pH (H ₂ O)	8,06 \pm 0,06
CE (dS m ⁻¹)	0,09 \pm 0,04
CIC (cmol kg ⁻¹)	6,91 \pm 0,16
COT (%)	0,64 \pm 0,10
MO (%)	1,10 \pm 0,17
C / N	10,16 \pm 1,54
N Total (%)	0,06 \pm 0,00
N - NH ₄ ⁺ inorgánico (μ g g ⁻¹)	6,46 \pm 1,14
N - NO ₃ ⁻ inorgánico (μ g g ⁻¹)	24,80 \pm 5,55
P Total (%)	0,07 \pm 0,00
P disponible (μ g g ⁻¹)	32,01 \pm 3,74
Na total (%)	0,02 \pm 0,00
K total (%)	0,54 \pm 0,08
Mg total (%)	0,36 \pm 0,05
Ca total (%)	10,77 \pm 1,78
Na intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0,06 \pm 0,00
K intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0,40 \pm 0,03
Mg intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0,59 \pm 0,00
Ca intercambiable (cmol kg ⁻¹)	5,86 \pm 0,31
Arena (%)	57
Limo (%)	18
Arcilla (%)	25
Textura	Franco - arenoso

cillo arenoso de Bellaterra. España [35]. Igual sucedió con el valor de la conductividad eléctrica, el cual fue menor en este suelo en comparación a todos los casos. El valor de la CIC igual a 6,91 cmol kg⁻¹, es muy bajo en comparación a los valores referidos en la Tabla 3, y este nivel se mantiene en relación a los valores encontrados en otros suelos tropicales (Brasil: 7 - 24 cmol kg⁻¹) [17]. Los contenidos totales de Na, K, Mg y Ca resultaron ser, aproximadamente 3 veces menores a los indicados para el suelo semi-árido de Murcia [12]. En sí, el suelo estudiado posee características adecuadas que lo hacen apto para el desarrollo de ciertas especies de cultivos adaptables a las condiciones edafoclimáticas de las regiones semi-árida, tales como maíz, frijoles, cebolla, pimentón, auyama, pepino, patilla y melón.

En relación al contenido de carbono orgánico, el suelo en estudio se ubica como típico de estas regiones climáticas, cuyos valores son normalmente muy bajos variando de 0,33 a 0,82% (Tabla 3).

Suelos:

1. Suelo típico calciorthids. España [32].
2. Suelo de Murcia. España [12].
3. Suelo Franco Arcilloso. Valencia. España [7].
4. Suelo calizo. España [24].
5. Suelo calcáreo. Murcia. España [33].
6. Suelo arenoso. Israel [22].
7. Suelo Franco. Israel [22].

Escasamente, solo algunos suelos presentan valores de COT mayores que 1; tal es el caso de los suelos de Bellaterra y Huesca (España), típicos de las regiones semi-áridas de clima templado, cuyos valores de COT corresponden a 1,15 y 1,30%, respectivamente [35] [5]. Sin embargo, un valor mucho más bajo, de 0,10%, ha sido indicado para un suelo texturalmente igual en la región de Murcia [6]. Aún así, valores menores de 1,5 para suelos de textura gruesa son considerados bajos [18].

El contenido de nitrógeno total del suelo estudiado se encuentra entre los valores obtenidos para los suelos de las regiones semiáridas, los cuales son también bajos. En las regiones áridas y semi-áridas tanto el N como la disponibilidad de agua son los factores más limitantes para la productividad de los suelos [41].

La relación C/N con un valor de 10,16, también figura entre los valores mostrados en la tabla 3 (5,90-16,12). Los valores de la relación C/N en los suelos agrícolas tropicales varían normalmente entre 9 y 14; en general son más bajos en los suelos de las zonas áridas con menor cantidad de lluvia, que en las zonas húmedas, considerando valores de temperaturas similares. En condiciones de igual cantidad de precipitación pluvial, la relación C/N es más alta en suelos de las áreas frías que en aquellos de las áreas calientes. Asimismo, se ha encontrado que la relación C/N es más baja en los suelos neutros o ligeramente alcalinos [17].

El contenido de fósforo total (0,07%) es ligeramente mayor a los reportados para los suelos de la región mediterránea de España [32] [12]; y el fósforo disponible se encuentra en el rango de valores medios indicados para suelos de textura gruesa (19 a 36 mg kg⁻¹) [18].

En otros suelos no intervenidos en distintas poblaciones de la región semi-árida del estado Falcón, se han obtenido valores muy similares al suelo estudiado para algunas de estas características básicas: 1. La Negrita, Municipio Miranda: pH= 7,71; CE= 0,14 dS m⁻¹; COT= 0,46%; N total= 0,20% [3]. 2. Aracua, Municipio Bolívar: pH= 6,57; CE= 1,5 dS m⁻¹; COT= 0,61%; N total= 1,39% [1]. 3. Cardón, Municipio Carirubana: pH= 7,65; CE= 0,58 dS m⁻¹; COT= 0,41%; N total= 1,39% [2].

Tabla 3. Caracterización de siete (7) suelos típicos de regiones semi-áridas (valores medios).

Suelo ►	1	2	3	4	5	6	7
(*) Parámetro ▼							
pH (H ₂ O)	8,52	8,55	8,15	8,70	8,1	7,15	8,03
CE (dS m ⁻¹)	0,16	20,00	3,79	-	0,15	-	-
CIC (cmol kg ⁻¹)	-	-	9,16	12,10	-	-	-
COT (%)	0,39	0,50	0,81	0,33	0,53	0,60	0,82
MO (%)	0,67	0,86	1,39	0,57	0,91	1,03	1,42
C / N	5,90	16,12	-	6,60	9,80	-	-
N total (%)	0,07	0,03	-	0,005	0,05	-	-
P total (%)	0,03	0,05	-	-	-	-	-
P disponible (μg g ⁻¹)	-	-	81,00	-	-	-	-
K total (mg kg ⁻¹)	0,48	1,69	-	-	0,030	-	-
Ca total (mg kg ⁻¹)	-	32,40	-	-	-	-	-
Mg total (mg kg ⁻¹)	-	1,63	-	-	0,048	-	-
Na total (mg kg ⁻¹)	-	0,18	-	-	-	-	-
Metal Total (mg kg ⁻¹) ▼							
Fe	12325	29429	-	4915	12300	-	14119
Mn	195,00	569,00	-	308,00	196,0	-	312,00
Zn	24,30	172,00	77,30	42,00	25,0	<0,1	39,10
Cu	-	23,00	24,30	17,00	10,0	<0,1	13,90
Cr	-	16,00	30,30	39,00	14,0	<0,1	-
Ni	14,30	42,00	11,40	67,00	-	<0,1	18,30
Pb	0,10	97,00	38,60	56,00	0,2	<0,1	-
Cd	-	1,00	0,18	-	-	<0,1	0,22
Co					-	-	7,40
V					-	-	39,50
Metal Intercambiable (cmol kg ⁻¹) ▼							
K	-	-	1,76	-	-	-	-
Na	-	-	17,02	-	-	-	-
Ca	-	-	2,22	-	-	-	-
Mg	-	-	0,24	-	-	-	-

(*) Los parámetros determinados no son siempre los mismos para cada suelo estudiado.

En relación al contenido de metales totales en el suelo (Tabla 4), se aprecia que el contenido de hierro está entre los valores encontrados para este tipo de suelo, que según lo registrado en la Tabla 3 para otros suelos, varían entre 4915 y 29494 mg kg⁻¹.

De todos los elementos evaluados para estos suelos el Fe se presenta en mayor concentración, al igual que en los otros suelos presentados en la tabla 3, lo que puede ser lógico, considerando que es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre superior. Su posición de ele-

mento absorbido en reducidas cantidades, se debe a la muy escasa solubilidad de la gran mayoría de sus compuestos en el estado trivalente (Fe⁺³), común en los suelos bien aireados [17].

El Mn, Zn, Ni y Cd están entre los valores normales de estos elementos para los suelos de las regiones semi-áridas; el contenido de Cu y Cr son bajos con respecto a los reportados en la Tabla 3. Aunque las cantidades totales de estos elementos pueden ser indicativas del potencial que el suelo tiene para suplir los nutrientes, no indican cuánto

Tabla 4. Contenido total, extraíbles con DTPA y Agua (mg kg^{-1}) de algunos metales en el suelo (media \pm desviación estándar; $n=8$).

Metal	Total	Extraídos con DTPA	Solubles en agua
Cd	<1	<1	<1
Cr	<1	<1	<1
Cu	11,5 \pm 0,90	<1	<1
Fe	19999 \pm 3191	5,4 \pm 0,52	60,1 \pm 0,60
Mn	198,0 \pm 17	9,6 \pm 0,32	4,5 \pm 0,39
Ni	11,8 \pm 1,2	<1	<1
Pb	4,3 \pm ,0	<1	<1
Zn	37,3 \pm 4,4	1,5 \pm 0,06	4,4 \pm 0,32

de ese total puede ser aprovechable por las plantas. De hecho la proporción de elementos en solución en comparación a su total en el suelo es muy pequeña, generalmente en el orden de 1 a 2%.

La movilidad de algunos de los principales metales contaminantes en los suelos, se puede agrupar en el siguiente orden: $\text{Cu} < \text{Pb} < \text{Ba} < \text{Zn} < \text{Cd} < \text{Ni} < \text{Mn}$ y existen factores del suelo que influyen sobre la movilidad, entre los cuales están la textura, la superficie específica, el contenido de sesquióxidos libres en el suelo y su pH. Éste último parámetro es, posiblemente, el más importante, en el sentido que de él depende la ocurrencia de reacciones de solubilización, precipitación, disociación de ácidos y bases, así como también la formación de complejos con la materia orgánica. La ocurrencia y el predominio de una u otra de estas reacciones es lo que finalmente gobierna la presencia de estos elementos en la solución del suelo, y en consecuencia, su disponibilidad para los cultivos [27]. Otras investigaciones han señalado que son las reacciones de acomplejamiento con especies orgánicas las que realmente modifican el comportamiento de estos elementos en la solución del suelo [36].

Aunque el conocimiento del contenido total de metales es bastante útil, es importante evaluar la disponibilidad potencial de los mismos para las plantas [20]. Frecuentemente se emplean diferentes tipos de extractantes [23] [14] [30], de los cuales, algunos son agentes quelatantes como el ácido dietiléndiamin tetraacético (EDTA) o el ácido dietiléntriamin pentaacético (DTPA) y otros extraen los elementos presentes en la solución del suelo (agua) o en el complejo de cambio (soluciones de sales neutras). En el presente estudio, la extracción se efectuó con una solución de DTPA 0,005 M y con agua a tem-

peratura ambiente. La Tabla 4 muestra también los valores medios obtenidos para los metales extraídos con la solución de DTPA y con agua (hidrosolubles). En la fracción de los metales extraída con DTPA, considerada como potencialmente utilizable por la planta a mediano plazo [20], como era de esperar, el Fe sigue siendo el más abundante, tal como ocurriese en la determinación del contenido total; pero, lógicamente, el valor obtenido resultó menor. Asimismo, el valor de este metal correspondiente a la extracción con agua es menor que el obtenido con el DTPA. En general, esto último ocurrió para casi todos los metales evaluados en la extracción. La relación entre estos metales para la fracción extraída con DTPA en el suelo resultó: $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn}$. Como puede apreciarse en la Tabla 4 el Cd, Cr y Pb extraíbles con DTPA estuvieron presentes sólo a nivel de trazas.

Las concentraciones encontradas de los diferentes metales en el suelo, se ubican dentro de los límites permitidos, tanto en la fracción total, como en las extraíbles con DTPA y agua; si consideramos lo internacionalmente establecido para aguas residuales destinadas a riego [15] [16] y lodos residuales destinados a uso agrícola (Tabla 5).

Fraccionamiento de la Materia Orgánica y Cálculo de los Parámetros de Humificación

El fraccionamiento de la materia orgánica se ha considerado un paso necesario para la caracterización del suelo. La materia orgánica del suelo puede dividirse en dos grandes grupos: sustancias no húmicas y las propiamente húmicas. El primer grupo está constituido por compuestos bien definidos químicamente, generalmente incoloros, que no son exclusivos del suelo. Son compuestos de bajo

Tabla 5. Valores máximos permitidos (mg kg^{-1}) en el contenido total de metales pesados en lodos residuales destinados a uso agrícola [10] [11].

Metal pesado ►	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Cr
Suelos con $\text{pH} < 7$	20	1000	300	750	2500	16	1000
Suelos con $\text{pH} > 7$	40	1750	400	1200	4000	25	1500

peso molecular, utilizados por los microorganismos como sustrato y por lo tanto de existencia transitoria en el suelo. Entre estos compuestos se encuentran: hidratos de carbono, alcoholes, auxinas, aldehidos, aminoácidos, resinas, ácidos alifáticos y ácidos aromáticos. Las fracciones comúnmente obtenidas incluyen ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas [40].

La composición del humus en el suelo se determinó de acuerdo al procedimiento recomendado por Sequi *et al.* (1986) [39], calculando el contenido total de carbono orgánico en el extracto de pirofosfato-hidróxido, como también en todas las fracciones obtenidas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y sustancias no húmicas) de ese extracto. De esta manera ha sido posible calcular algunos parámetros útiles en la valoración de la estabilidad de la materia orgánica, tales como el índice y el grado de humificación, entre otros. El % de carbono extraíble [CE (AH + AF + NH)] resultó ser muy bajo (0,10); esto derivado lógicamente del contenido de carbono orgánico total (COT) en el mismo, de lo cual se ha discutido en la sección anterior. Las fracciones de la materia orgánica determinadas mostraron la misma tendencia: carbono de ácidos húmicos (AH= 0,04); carbono de ácidos fúlvicos (AF= 0,02) y el carbono de sustancias no húmicas (NH = 0,04). En la Tabla 6 se presentan las fórmulas empleadas para calcular los parámetros de humificación y los índices de humificación calculados.

Existe falta de información con respecto a la determinación de estos parámetros bioquímicos en suelos de las regiones semiáridas de Venezuela en general, y en particular en el estado Falcón, sin embargo se han referido valores de CE y AH para suelos de la región del mediterráneo con clima templado semi-árido; tales como los indicados para seis suelos de Murcia, España, que variaron de 0,15 a 0,45% y de 0,07 a 0,24%, respectivamente [19]. Tomando en cuenta la referencia anterior, puede observarse que los valores de estos parámetros para el suelo estudiado se encuentran en los niveles más bajos.

Los valores de la TH y RH resultaron altos; lo cual, en la relación de humificación, sugiere un incremento en la fracción de C soluble en un medio alcalino, por lo tanto el

Tabla 6. Parámetros de humificación determinados en el suelo.

Parámetro Calculado	Fórmula	Valor
Índice de Humificación	$\text{IH} = \text{NH} / (\text{AF} + \text{AH})$	0,65
Grado de Humificación (%)	$\text{GH} = (\text{AF} + \text{AH} / \text{CE}) \times 100$	60,6
Tasa de Humificación (%)	$\text{TH} = (\text{AF} + \text{AH} / \text{COT}) \times 100$	9,4
Relación de Humificación	$\text{RH} = \text{AF} / \text{AH}$	0,43
Grado de Polimerización	$\text{GP} = \text{AH} / \text{AF}$	2,33
Relación de Humificación (%)	$\text{RH} = (\text{CE} / \text{COT}) \times 100$	15,5

AH: Ácidos Húmicos, AF: Ácidos Fúlvicos, SH: Sustancias No Húmicas, CE: Carbono Extraíble, COT: Carbono Orgánico Total.

incremento en la tasa de humificación puede indicar un incremento en la complejidad estructural de las moléculas en el suelo, mostrando por ende características húmicas más acentuadas; las cuales estarían indicadas también por un valor más alto del GH.

En relación al IH, el suelo mostró un valor bajo (< 1). El índice de humificación es un parámetro que estima la calidad del suelo e indica la cantidad de carbono no humificado en relación al carbono humificado. Conviene mencionar que las condiciones en el laboratorio nunca pueden reproducir las condiciones del medio natural donde este proceso se lleva a cabo a partir de una biomasa más elevada y durante un tiempo mucho mayor. El GP, definido por Roig *et al.* (1988) [37], resultó ser mayor. Este parámetro, conjuntamente con la relación de humificación, han sido interpretados como los índices más sensitivos para el seguimiento de los procesos de humificación y han sido propuestos como indicadores de maduración; por lo que pueden entonces, reflejar la formación de moléculas complejas (AH) a partir de moléculas más simples (AF) y una disminución de los componentes no-húmicos de la fracción de ácidos fúlvicos, los cuales son los más fácilmente degradados por los microorganismos [38]. El valor del % de la TH también resultó ser bajo.

Conclusiones

La presencia de metales pesados en el suelo estudiado, no representa un riesgo potencial de contaminación por fitotoxicidad para los cultivos, ya que los niveles detectados de los elementos contaminantes son inferiores a los límites permisibles. Metales pesados como Cd, Pb, Ni y Cr que pueden ser potencialmente peligrosos no estuvieron presentes en concentraciones limitantes en las formas disponibles, las cuales son una aproximación química de lo que suponemos la planta podría extraer del suelo.

Los valores de los parámetros de humificación, obtenidos para este suelo, indicaron que su materia orgánica está muy estabilizada.

Las condiciones de este suelo, concernientes básicamente al bajo contenido de carbono y nitrógeno, podrían mejorarse aplicando una fuente de materia orgánica proveniente de residuos orgánicos de diferente naturaleza (residuos vegetales, estiércoles o lodos residuales domésticos, por ejemplo); considerando, por supuesto, los valores de los parámetros físico químicos estudiados en este suelo, tales como MO, pH, CE y CIC.

Referencias

- [1] ACOSTA, F. (2005). Evaluación del contenido de metales pesados presentes en las fracciones total y extraíbles en los suelos de la población de Aracua del Municipio Bolívar del Estado Falcón. Trabajo especial de grado para optar al título de ingeniero químico. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM).
- [2] ACOSTA, Y. (2007). Efecto de la contaminación por aceite usado de motor sobre las propiedades químicas, biológicas y bioquímicas de un suelo de la Península de Paraguaná. Proyecto de Investigación del Laboratorio de Investigaciones y Servicios Ambientales (LISA) de la Universidad del Zulia. Núcleo Punto Fijo. Resultados preliminares.
- [3] ACOSTA, Y. (1995). Aplicación de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas servidas (TAS) de Maraven-Cardón para el mejoramiento del suelo. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Mg Sc. en Ciencias Ambientales. La Universidad del Zulia (LUZ). p.93.
- [4] ANDERSON, J.; INGRAM, J. (1993). Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. Second Edition. CAB International. Wallingford, UK. p.62.
- [5] BADÍA, D. and ALCANIZ, J. (1994). Basal and specific microbial respiration in semiarid agricultural soils: organic amendment and irrigation management effects. *Geomicrobiol. J.* 11: 261-274.
- [6] BERNAL, M.; NAVARRO, A.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M.; ROIG, A.; CEGARRA, J. (1998). Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biol. Biochem.* 30 (3): 305-313.
- [7] CANET, R.; POMARES, F.; ESTELA, M.; TARAZONA, F. (1998). Efectos de diferentes enmiendas orgánicas en las propiedades del suelo de un huerto de cítricos. *Agrochimica.* 42 (1-2): 41-49.
- [8] CASANOVA, E. (1996). **Introducción a la Ciencia del Suelo.** Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Caracas. Venezuela. Litopar C.A. 379 p.
- [9] COMISIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS (COPLANARH) (1975). **Inventario Nacional de Tierras.** Costa Nor-occidental, Centro Occidental y Central (Entidad Natural: Península de Paraguaná). Vol. II. pp.726-759. COPLANARH. Ministerio de Obras Públicas (MOP). Caracas. Venezuela.
- [10] COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA (CEE) (1986). Council Directive 126/1986 on the protection of environment and in particular of the soil when sewage sludge is used in agricultura, 86/278/EEC, off. *J. of the Eur. Comm.* Nº L186/6-12, 4/7/1986.
- [11] COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA (CEE) (1976). Directiva 76/464/CEE relativa a la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas vertidas en el medio acuático de la comunidad. Bruselas, Bélgica. p. 5.
- [12] COSTA, F.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C.; AYUSO, M.; PASCUAL, J.; POLO, A. (1992). Efecto residual de diferentes residuos orgánicos sobre un cultivo de cebada. *Suelo y Planta.* pp. 593-601.
- [13] DÍAZ-BURGOS, M.; CECCANTI, B.; POLO, A. (1993). Monitoring biochemical activity during sewage sludge composting. *Biol. Fertil. Soils.* 16: 145-150.
- [14] DULEY, L.; MCLEAN, J.; SIMS, R.; JURINAK, J. (1988). Sorption of copper and cadmium from the water-soluble fraction of an acid mine waste by two calcareous soils. *Soil Sci.* 145: 207-214.
- [15] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1992). **Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization.** Vol. 1: metals.
- [16] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1972). **Criterios de la calidad de las aguas.** Reporte NºEPA-R373-033. Academia de Ciencias de los Estados Unidos. Washington, DC., EEUU. p. 592.
- [17] FASSBENDER, H. y E. BORNEMISZA. (1994). **Química de Suelos con Énfasis en Suelos de América Latina.** 2da. ed. rev. San José, Costa Rica : IICA. p. 420.
- [18] FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (FONAIAP) (1990). Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia. (Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad). Serie D. Nº. 26. Es-

- cuela de Agronomía. Ministerio de Agricultura y Cría. FONAIAP. UCLA, Maracay. p. 206.
- [19] GARCÍA, C.; T. HERNÁNDEZ. (1996). Organic matter in bare soils of the mediterranean region with a semiarid climate. **Arid Soil Res. Rehab.** 10: 31-41.
- [20] GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; COSTA, F. (1991). Agronomic value of urban waste and growth of rygrass (*Lolium perenne*) in a calciorthids soil amended with this waste. **J. Sci. Food Agric.** pp. 457-467.
- [21] GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; ALBALADEJO, J.; CASTILLO, V.; ROLDÁN, A. (1998). Revegetation in semi-arid zones: influence of terracing and organic refuse on microbial activity. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 62: 670-676.
- [22] HAN, F.; BANIN, A. (2000). Long term transformations of Cd, Co, Cu, Ni, Zn, V, Mn, and Fe in the native arid-zone soils under saturated condition. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 31: 943-957.
- [23] HECMAN, J.; ANGLE, J.; CHANEY, R. (1987). Residuals effects of sewage sludge on soybean. I. Accumulation of heavy metals. **J. Environ. Qual.** 16: 113-117.
- [24] HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C.; COSTA, F.; VALERO, J.; AYUSO, M. (1992). Utilización de residuos urbanos como fertilizantes orgánicos. **Suelo y Planta.** 2: 373-383.
- [25] INSTITUTO DE EDAFOLOGÍA. UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA (UCV). (1993). **Cuadernos de Agronomía.** Año 1. Nº 6. UCV. Maracay, Venezuela. p. 89.
- [26] KEENEY, D.; NELSON, D. (1982). **Nitrogen-inorganic forms.** pp. 643-698. In: Methods of Soils Analysis. Part 2. A. Page et al (Eds.). 2 ed. Agronomy 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- [27] KORTE, N.; SKOPP, J.; FULLER, W.; NIEBLA, E.; ALESH, B. (1976). Trace element movement in soils. Influence of soil physical and chemical properties. **Soil Sci.** 122 (6): 350-357.
- [28] KUO, S. (1996). **Phosphorus.** pp. 869-918. In: Methods of soil analysis. Part. 3. Chemical Methods. Book Series. No.5. Soil Science Society of American Society of Agronomy (SSSA). 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA.
- [29] LINDSAY, W.; NORWEL, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 42: 421-428.
- [30] MATHUR, S.; LEVESQUE, M. (1988). Soil test for copper, iron, manganese and zinc in histosols. 2. The distributions of soil iron and manganese in sequentially extractable forms. **Soil Sci.** 145: 102-110.
- [31] MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES (MARNR) (1980). **Atlas de Venezuela.** República de Venezuela. Dirección General de Información e Investigación del Ambiente. Dirección de Cartografía Nacional. Edición Escolar. Talleres de Litografía Tecnocolor, S. A. Caracas. Venezuela. 331 p.
- [32] MORENO, J.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; AYUSO, M. (1997). Application of composted sewage sludges contaminated with heavy metals to an agricultural soil. **Soil Sci. Plant Nutr. (Japan).** 43 (3): 565-573.
- [33] MORENO, J.; HERNÁNDEZ, T.; GARCÍA, C. (1999). Effects of a cadmium-contaminated sewage sludge compost on dynamics of organic matter and microbial activity in an arid soil. **Biol. Fertil. Soils.** 28: 230-237.
- [34] MURPHY, J.; RILEY, J. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Anal. Chim. Acta.** 27:31-39.
- [35] ORTIZ, O.; ALCANIZ, J. (1994). Respiration potential of microbial biomass in a calcareous soil treated with sewage sludge. **Geomicrobiol. J.** 11: 333-340.
- [36] RIVERO, C. (1999). Materia Orgánica del Suelo. **Revista Alcance** 57. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. p. 211.
- [37] ROIG, A.; LAX, A.; CEGARRA, J.; COSTA, F.; HERNÁNDEZ, M. (1988). Cation-exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manures. **Soil Sci.** 146: 311-316.
- [38] SÁNCHEZ-MONEDERO, M.; ROIG, A.; CEGARRA, J.; BERNAL, M. (1999). Relationships between water-soluble carbohydrate and phenol fractions and the humification indices of different organic wastes during composting. **Biores. Technol.** 79: 193-201.
- [39] SEQUI, P.; DE NOBILE, M.; LEITA, G.; CERCIGNANI, G. (1986). A new index of humification. **Agrochimica.** 30: 1-2.
- [40] STEVENSON, F. (Ed.) (1994). **Humus Chemistry: Génesis, Composition, Reactions.** 2nd. Ed. John Wiley and Sons, New York. p. 496.
- [41] ZHANG, Q.; ZAK, J. (1998). Effects of water and nitrogen amendment on soil microbial biomass and fine root production in a semi-arid environment in west texas. **Soil Biol. Biochem.** 30: 39-45.