

# **Composición de la materia orgánica, pH, intercambio catiónico y textura de cinco suelos ubicados entre 670 y 1600 msnm en la cuenca del río Maracay, Venezuela**

Organic matter composition, pH, cation exchange and texture, on five soils located between 670 and 1600 meters above sea level in the basin of river Maracay, Venezuela

Composição da matéria orgânica, pH, troca catiônica e textura de cinco solos localizado entre 670 e 1600 metros acima do nível do mar na bacia do rio Maracay, Venezuela

Magaly Ruiz Dager<sup>1\*</sup>, Graciano Elizalde<sup>2</sup> y  
María M. Ríos Cabrera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA). Universidad Rómulo Gallegos, San Juan de los Morros. Guárico, Venezuela. Correo electrónico: [magaruizdager@gmail.com](mailto:magaruizdager@gmail.com). <sup>2</sup>Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. Avenida 19 de Abril, El Limón, Maracay. Apartado postal 4579. Correo electrónico: [gracianoelizalde@yahoo.com](mailto:gracianoelizalde@yahoo.com). <sup>3</sup>Núcleo de Investigación Ambiental con Fines Educativos (NIAFE). Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Maracay, Venezuela. Correo electrónico: [mariamagdarios@gmail.com](mailto:mariamagdarios@gmail.com). Fuente de financiamiento: Fondo para el Fomento y Desarrollo de la Investigación (FONDEIN) de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), registrado bajo el N° PIF-0018.

## **Resumen**

Se estudió la variabilidad de algunos atributos del suelo en función de su profundidad en una secuencia pedogeomorfológica de la cuenca del río Maracay, Venezuela. El estudio formó parte de un proyecto integral, orientado al diagnóstico de los factores que incidieron sobre la degradación de dichos suelos y el papel de la materia orgánica en esos cambios. Se tomaron muestras en los horizontes genéticos

---

Recibido el 25-02-2016 • Aceptado el 28-10-2016

\*Autor de correspondencia. Correo electrónico: [magaruizdager@gmail.com](mailto:magaruizdager@gmail.com)

de cinco suelos ubicados entre 670 y 1600 msnm. Se determinó el carbono orgánico total (COT), el unido a las huminas, a los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos y el carbono no humificado, el pH, Ca y Al intercambiables, capacidad de intercambio catiónico, suma de bases cambiables y textura. El COT alcanzó 5,1% en el sitio de mayor altitud, mientras que en el piedemonte los valores no superaron el 1,48%, tendiendo a aumentar con la altitud. La textura fue uniforme, especialmente en el contenido de arcilla y arena, dando una clase textural franco arenosa, excepto en el punto de mayor altitud donde la clase textural fue franca. Los valores de pH variaron entre 3,39 y 5,37 con una tendencia a incrementarse al disminuir la altura. En conclusión, los contenidos de materia orgánica estuvieron relacionados con el piso altitudinal, los materiales parentales, la pendiente, la vegetación, la textura y el pH. La mayor parte del carbono orgánico se encontró en las huminas, indicando que una alta proporción de la materia orgánica presente en los suelos no ha sido de fácil biodegradación y ha estado formando quelatos con la fracción mineral.

**Palabras clave:** suelos de selva nublada, fraccionamiento químico de la materia orgánica, secuencia pedogeomorfológica, cuenca río Maracay.

### Abstract

The variability of some soil attributes was studied according to their depth in a pedogeomorphological sequence of the Maracay river basin, Venezuela. The study was part of an overall project, oriented towards the diagnosis of the factors that had an impact on this soil degradation and the role of organic matter in these changes. Samples were taken from the genetic horizons of five soils located between 670 and 1600 meters above sea level. Total organic carbon (TOC), carbon associated with humin, humic acids and fulvic acids and non-humic carbon were determined, as well as pH, interchangeable Ca and Al, cation exchange capacity, exchangeable bases and texture. TOC reached 5.1% in the highest altitude site, while the values did not exceed to 1.48% in the foothills, showing a tendency to increase with altitude. The texture was uniform, especially the content of clay and sand, giving a textural class sandy loam, except at the point of highest altitude where the textural class was loam. The values of pH ranged between 3.39 and 5.37 with a tendency to increase with reducing elevation. In conclusion, the contents of organic matter were related to the altitudinal tier, parent material, slope, vegetation, texture and pH. Most of the organic carbon was associated with the humins, indicating that a high proportion of organic matter was not easy to biodegrade and was forming chelates with the mineral fraction.

**Key words:** cloudy forest soils, chemical fractionation of organic matter, pedogeomorphological sequence, Basin of Maracay River.

## Resumo

Foi estudada a variabilidade de alguns atributos do solo, dependendo da sua profundidade em uma seqüência pedogeomorfológica na bacia do rio Maracay, Venezuela. O estudo foi parte de um projecto global destinado a diagnosticar os fatores que impactaram na degradação destes solos e o papel da matéria orgânica nestas mudanças. Amostras de horizontes genéticos em cinco solos localizados entre 670 e 1600 m foram tomadas. Determinou se carbono orgânico total (COT), vinculado à humina e ácidos húmicos e fúlvicos e carbono não humificado, pH, Ca e Al, capacidade de troca catiônica, soma de bases e textura permutáveis. O COT atingiu 5,1% no local de maior altitude, enquanto nos valores Piemonte não excedeu 1,48%, tendendo a aumentar com a altitude. A textura foi suave, especialmente no conteúdo de argila e areia, dando uma classe textural franco-arenosa, excepto no ponto de maior altitude onde a classe textural foi franco. Os valores de pH variaram entre 3,39 e 5,37, com tendência para aumentar com a diminuição da altitude. Em conclusão, teor de matéria orgânica foram relacionados com a altitude, material de origem, inclinação, vegetação, textura e pH. A maior parte do carbono orgânico foi encontrado na humina, indicando que uma percentagem elevada de matéria orgânica no solo não tem sido fácil a biodegradação e tem formado quelatos com a fracção mineral.

**Palavras-chave:** solos de floresta, fracionamento químico da matéria orgânica, córrego pedogeomorfológica, bacia do rio Maracay.

## Introducción

La cuenca del río Maracay ubicada en el estado Aragua, Venezuela, presenta variaciones importantes de relieve, desde montañas de más de 2.000 metros de altura, hasta la llanura aluvial y lacustre adyacente al Lago de Valencia, planicie ésta que se encuentra ligeramente por encima de los 400 metros sobre el nivel del mar (msnm). También hay importantes variaciones de temperatura, precipitación y vegetación. Las altas precipitaciones en las partes elevadas se deben al ascenso orográfico de las masas de aire cálido y húmedo, provenientes del noreste (vientos alisios) que al ser forzados por la montaña a ascender se enfrían, produciendo la condensación de la humedad.

## Introduction

The basin of the Maracay river located in Aragua state, Venezuela, has important variations in altitude from mountains with more than 2000 meters of height until the alluvial and lacustrine plain adjacent to Valencia Lake, which is slightly over 400 meters above the sea level (masl). There are also important variations of temperature, precipitation and vegetation. The greatest precipitations in the high areas are due to the orographic rise of the masses of warm and humid air coming from the Northeast (trade winds) that once forced by the mountain to ascend get cold producing condensation of humidity.

Aunque gran parte de esta cuenca se encuentra en el Parque Nacional "Henri Pittier", en ella se han producido diversas alteraciones en las propiedades de los suelos, debido a la intensa actividad humana, que ha desencadenado la sustitución de un alto porcentaje del bosque original por vegetación de gramíneas y otras hierbas anuales. Aun cuando el bosque corresponde a la vegetación natural, la asociación de herbáceas es el bioma que más se ha ido expandiendo a expensas del primero. Este proceso se ha acelerado en las últimas décadas, debido a incendios anuales de la vegetación, así como la tala y la construcción de infraestructuras (carreteras, tendidos eléctricos, entre otras). La eliminación del bosque disminuye la calidad de los suelos, lo que se refleja en una vegetación menos densa y diversa, así como en un deterioro de las condiciones favorables para la fauna (Fernández-Badillo y Ulloa, 1990).

El estudio de las características físicas y químicas de los suelos ubicados en distintas posiciones topográficas, ayuda a comprender su comportamiento al variar la altitud. Bajo esas condiciones pueden presentarse distintas situaciones ambientales en cuanto a pendiente, cobertura vegetal, clima y en algunos casos en los materiales parentales, condiciones éstas, que influyen en atributos importantes de los suelos, tales como pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), Al y bases intercambiables y el carbono orgánico. En particular, el contenido y la composición de la materia orgánica

Even though part of this basin is in the National Park "Henri Pittier", different alterations have produced in the soil properties due to the intense human activity that has caused the substitution of a high percentage of the original forest by vegetation of gramineae and other annual herbs. Although the forest corresponds to the natural vegetation, the association of herbaceous is the biome that has been expanding more at the expense of the first one. This process has accelerated in the last decades, due to annual fires of the vegetation, as well as cutting and the construction of infrastructures (roads, power lines, among others). The elimination of the forest reduces the soil quality, which is seen in a less dense and diverse vegetation, as well as a deterioration of the favorable conditions for the fauna (Fernández-Badillo and Ulloa, 1990).

The study of physical and chemical characteristics of the soils located in different geographic positions helps to understand its behavior when varying the altitude. Different environmental situations might happen under these conditions in terms of slope, vegetation cover, climate and in some cases parental materials, which conditions that have an influence in important attributes of soils, such as pH, cation exchange capacity (CEC), interchangeable Al and bases and organic carbon. Particularly, the content and composition of the organic matter of the soil (OM) influences on the chemical, physical and biological properties of this environment due to its incidence in aspects such as: humidity retention, structuring,

del suelo (MO), influye de manera importante sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas de este medio, debido a su incidencia en aspectos tales como: retención de la humedad, estructuración, porosidad y aireación, capacidad de intercambio catiónico y su aporte de sustrato y energía a la microflora, favoreciendo los procesos biológicos, así como la disolución, captura y movilización de macro y micronutrientes. Por ello, ha sido considerado un indicador clave de la calidad de los suelos.

En una investigación previa realizada en el área de estudio (Sánchez *et al.*, 2005), en la que se seleccionaron tres puntos a diferentes alturas (480, 720 y 1000 msnm), se encontró que el contenido de carbono orgánico total del suelo (COT) presentó los mayores valores en la zona más elevada, cubierta por vegetación característica del bioma de selva nublada y el valor más bajo se observó en el punto ubicado a altura intermedia, donde predominó el bosque de galería. Este valor, comparado con el del área de menor altitud (sabana arbolada), se explicó por el hecho de que esta última, constituyó un espacio de depósito de materiales transportados desde los sitios más elevados. En cambio, la zona ubicada a una altura intermedia, está sometida a constante tránsito de material superficial debido a las lluvias o por efecto de las actividades humanas. Igual tendencia se observó en los contenidos de K, Ca y Mg cambiables. En cuanto al pH de los suelos, la tendencia fue a aumentar a medida que disminuyó la altitud.

En otro estudio, Carrero *et al.* (2007) compararon dos sitios de esta

porosity and airing, cation exchange capacity and its provision of substrate and energy to the micro flora, favoring the biological processes such as dissolution, capture and mobilization of macro and micro-nutrients. For this reason, it has been considered a key indicator of soil quality.

In a previous research carried out in the area under study (Sánchez *et al.*, 2005) where three different height points have been selected (480, 720 and 1000 masl), was found that the content of total organic carbon in the soil (TOC) presented the highest values in the highest area, covered by vegetation typical of the biome of cloudy forest, and the lowest value was observed in the point located at an intermediate height, where the gallery forest predominated. This value, compared to the area of lowest altitude (shrubby savannah) was explained by the fact that this last constituted a deposit area of materials transported from the highest places. Nevertheless, the area located at an intermediate height is submitted to constant transit of superficial material due to rain or by effects of the human activities. The same tendency was observed in the contents of exchangeable K, Ca and Mg. Regarding the pH of the soils, the tendency was to increase at the time that reduced the altitude.

In another study, Carrero *et al.* (2007) compared two places of this basin located at the same altitude under different biomes (savannah and gallery forest) and found that the pH, the content of exchangeable Ca and available P, were significantly higher in the soil of the savannah; meanwhile, the levels of exchangeable

cuenca, ubicados a la misma altitud bajo diferentes biomas (sabana y bosque de galería), encontraron que el pH, el contenido de Ca intercambiable y de P disponible, resultaron significativamente mayores en el suelo de sabana, mientras que los niveles de Mg intercambiable resultaron menores, así como la conductividad eléctrica. El COT y el carbono de la biomasa microbiana en el suelo del bosque de galería, duplicaron los valores observados en el suelo de sabana. En este último, la población microbiana mostró menor eficiencia en la utilización del carbono y mayor estrés, atribuible al escaso contenido de humedad y de MO.

Mogollón y Martínez (2009) en suelos de la Sierra de “San Luis”, estado Falcón, Venezuela, encontraron una correlación positiva y altamente significativa entre la altitud y el contenido de carbono orgánico ( $r=0,96$ ;  $P<0,001$ ). Estos resultados se relacionaron a los valores más altos de precipitación en los sitios de mayor altura, que determinó una cobertura vegetal más densa y abundante y mayor volumen de residuos orgánicos. En un marco más general, Jaimes y Elizalde (1990a), analizaron los contenidos de carbono orgánico y la relación C/N de 200 epipedones de suelos venezolanos ubicados entre 50 y 4200 msnm y también encontraron que ambos parámetros incrementaron significativamente con la altitud.

El presente estudio tuvo como propósito identificar las variaciones e interrelaciones de las diferentes formas de carbono orgánico, del Ca y del Al intercambiables, de la suma

Mg were lower as well as the electrical conductivity. The TOC and carbon of the microbial biomass in the soil of the gallery forest duplicated the values observed in the soil of the savannah. In the latter, the microbial population showed less efficiency in the use of carbon and more stress, attributed to the limited content of humidity and OM.

Mogollón and Martínez (2009) in soils of Sierra de “San Luis”, Falcon state, Venezuela, found a positive and highly significant correlation between the altitude and the content of organic carbon ( $r=0.96$ ;  $P<0.001$ ). These results were related to the highest precipitation values in the elevated areas, which determined a more dense and abundant vegetal cover and more volume of organic residues. In a more general framework, Jaimes and Elizalde (1990a) analyzed the contents of organic carbon and the C/N relation of 200 epipedons of Venezuelan soils located from 50 to 4200 masl and found that both parameters increased significantly with the altitude.

The aim of the current research was to identify the variations and inter-relations of the different forms of organic carbon, the interchangeable Ca and Al, the sum of the bases, the CEC, texture and the pH, in a pedogeomorphological sequence in the basin of the Maracay river, Aragua state, Venezuela, integrated by soils located at different heights above the sea levels.

## Materials and methods

The soils selected are located in the high and medium level of the north

de bases, la CIC, textura y el pH, en una secuencia pedogeomorfológica en la cuenca del río Maracay, estado Aragua, Venezuela, integrada por suelos ubicados a diferentes alturas sobre el nivel del mar.

## Materiales y métodos

Los suelos seleccionados están localizados en la parte alta y media del flanco norte de la cuenca del Lago de Valencia y se encuentran dentro de la cuenca del río Maracay, ubicada en la ladera orientada al sur del tramo Central de la Cordillera de la Costa, Venezuela, aproximadamente entre 10°20' y 10°22' N y 67°30' y 67°35' O y todos se ubicaron dentro del Parque Nacional "Henri Pittier". Se evaluaron los atributos del suelo en cinco sitios a diferente altitud y distintas condiciones ambientales en cuanto a pendiente, cobertura vegetal y clima, pero los materiales parentales fueron similares: regolitos provenientes de un gneis granítico en los puntos 1 y 4, brechas coluviales en los puntos 2 y 3 y sedimentos coluvio-aluviales en el 5; todos los sedimentos provinieron de materiales geológicos semejantes al primer punto (cuadro 1).

En todas las situaciones, la amplitud de la variación de la temperatura media mensual a lo largo del año fue menor de 5 °C. En la zona hay una estación más seca (diciembre-abril) y otra más húmeda (mayo-noviembre) y un gradiente según el cual la precipitación aumentó con la altura, desde un valor cercano a 900 mm anuales en la parte baja de la cuenca, hasta más de 1.800 mm

side of the basin of Valencia's Lake, and are inside the basin of Maracay river, located in the slope oriented to the south of the central side of the Coast Mountain Range, Venezuela, approximately from 10°20' and 10°22' N and 67°30' and 67°35' W and all were located in the National Park "Henri Pittier". The soil attributes were evaluated in five areas at different altitudes and environmental conditions in relation to the slope, vegetal cover and weather, but the parent materials were similar: regolith coming from granitic gneiss in points 1 and 4, colluvial breccias in points 2 and 3 and colluvial-alluvial sediments in point 5; all sediments came from geologic materials similar to the first point (table 1).

In all the cases, the range of the variation of the monthly mean temperature throughout the year was lower to 5 °C. In the area there is a drier station (December-April) and another wetter (May-November) and a gradient on which the precipitation increased with the height from a value closer to 900 mm annuals in the low area of the basin, until more than 1,800 mm annuals in areas of cloudy forest close to the study (Andressen, 2007). The increment of the precipitation with the height is reinforced by the condensation of the atmospheric humidity in the foliage of the cloudy forest, which determine that the soil surface kept wet in the points 1 and 2, even in the dry season (regime of udic humidity). In the points 4 and 5 the soils dried for more than 3 months continuous (regime of ustic humidity) and was intermediate;

Cuadro 1. Características de los sitios de muestreo.  
Table 1. Characteristics of the sampling areas.

| Punto | Altura (msnm) | Temp.* media anual (°C) | Vegetación y cobertura          | % Pendiente local y erosión                                 | Material parental                                                | Espesor del suelo (cm) | Posición y pendiente general ladera dominante                                                                              |
|-------|---------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 1.600         | 18                      | SN**<br>Sin suelo desnudo.      | 3-8<br>Sin erosión laminar.                                 | Regolito de gneis granítico muy alterado.                        | 130                    | Cresta. Dominante.                                                                                                         |
| 2     | 1.293         | 20                      | SN/BSV**<br>Sin suelo desnudo.  | 20-30<br>Sin erosión laminar<br>Cicatrices deslizamientos.  | Coluvial con bloques de gneis granítico moderadamente alterados. | 180                    | Dominado por ladera de 470 m longitud y 76% pendiente.                                                                     |
| 3     | 985           | 22                      | BSD**<br>Sin suelo desnudo      | Irregular<br>Cicatrices deslizamientos                      | Coluvial con bloques de gneis granítico moderadamente alterados. | 61                     | Dominado por ladera de 390 m y 64% pendiente.                                                                              |
| 4     | 782           | 23                      | HA**<br>85% sin cobertura.      | 48<br>Erosión laminar con surquillos.                       | Regolito de granito muy alterado.                                | 93                     | Dominado por ladera de 650 m y 48% pend.                                                                                   |
| 5     | 670           | 24                      | HA (BD)**<br>85% sin cobertura. | 8-16<br>Erosión laminar con surquillos y pequeñas cárcavas. | Coluvio- aluvial estratificado.                                  | 120                    | Terraza en piedemonte dominada por pendiente lateral de 25% y 140 m de largo y pend. longitudinal de 40% y 600 m de largo. |

Fuente: \*La temperatura media anual de los sitios se calculó con base a la ecuación propuesta por Jaimes y Elizalde (1990b). Temp= temperatura. Pend. = pendiente. \*\*SN= selva nublada; SN/BSV= transición selva nublada-bosque siempre verde; BSD= bosque semi deciuo; HA= herbazal de *Trachypogon* sp. arbolado con *Curatella americana*; HA (BD)= herbazal gramíneo arbolado (bosque deciuo deforestado).

anuales en sitios de la selva nublada cercanos al estudio (Andressen, 2007). El incremento de la precipitación con la altura se ve reforzado por la condensación de la humedad atmosférica en el follaje de la selva nublada, lo cual determinó que la superficie del suelo se mantuviera húmeda en los puntos 1 y 2, aún en la época seca (régimen de humedad údico). En los sitios 4 y 5 los suelos se secaron durante más de 3 meses continuos (régimen de humedad ústico) y fue intermedio, es decir, ústico cercano al límite údico, en el punto 3. En la zona boscosa, de mayor altura, más húmeda y más alejada de los centros poblados (puntos 1, 2 y 3), los incendios de vegetación fueron poco frecuentes, aunque en las áreas más bajas ocupadas por biomas de herbazal de *Trachypogon* y herbazal gramíneo arbolado (puntos 4 y 5), ellos ocurrieron casi anualmente.

En cada sitio seleccionado se ubicó un corte del terreno en el que se distinguió la estructura vertical del perfil de suelo. Seguidamente se procedió a establecer los criterios que permitieron definir los cambios en el perfil que ayudaron a identificar distintos horizontes genéticos. Se tomaron muestras de 3 a 4 kg constituidas por 10 submuestras de cada uno de los horizontes en cada suelo, para un total de 26 muestras (cuadro 2), siguiendo el procedimiento explicado en Schoeneberger *et al.* (2012). Se secaron al aire, se tamizaron a 2 mm y se homogeneizaron para tomar las muestras de los distintos análisis de laboratorio.

En este estudio se centró la discusión principalmente sobre las

that is, ustic close to be udic, in the point 3. In the forest area with highest altitude, more humidity and farther from the populated centers (points 1, 2 and 3) the fires of vegetation were not too frequent, but in the lowest areas occupied by biomes of the grassland *Trachypogon* and shrubby grassland (points 4 and 5), fires occurred almost annually.

On each place selected, a cut of the land was located where was distinguished the vertical structure of the soil profile. Later, it was proceeded to establish the criteria that allowed defining the changes in the profile that helped identifying different genetic horizons. Samples of 3 to 4 kg were taken constituted by 10 sub-samples of each of the horizons in each soil, for a total of 26 samples (table 2), following the procedure explained by Schoeneberger *et al.* (2012). These were dried with the environment air, sift at 2 mm and were homogenized for taking the samples of the different laboratory analysis.

This study concentrated on the discussion of these properties: percentage of total organic carbon of all the horizons (%TOC), carbon of the humins, carbon of the humic acid (HA), carbon of fulvic acids (FA), non humic carbon (NH);  $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$  of exchangeable calcium; (Ca INT),  $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$  of exchangeable aluminum (Al INT);  $\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$  of CEC, sum of exchangeable bases; pH in water 1:1.

TOC was evaluated by the humid combustion method based on the oxidation of organic carbon by a mix of potassium dichromate and concentrated sulfuric acid and the posterior determination of ions  $\text{Cr}^{+3}$

Cuadro 2. Algunas propiedades de los suelos.  
Table 2. Some soil properties.

| PUNTO | HORIZ.                 | ESPESOR<br>cm | TEXT.                                      | Ca INT.<br>cmol kg <sup>-1</sup> | Al INT.<br>cmol kg <sup>-1</sup> | CIC<br>cmol(+) kg <sup>-1</sup> | SUMA BASES<br>cmol kg <sup>-1</sup> | pH<br>agua 1:1 |
|-------|------------------------|---------------|--------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| 1     | 1                      | 3             | F                                          | 0,08                             | 4,0                              | 25,8                            | 0,43                                | 3,9            |
|       | 2                      | 6             | F                                          | 0,03                             | 5,0                              | 22,8                            | 0,29                                | 3,7            |
|       | 3                      | 7             | F                                          | 0,02                             | 5,0                              | 23,8                            | 0,24                                | 3,6            |
|       | 4                      | 21            | F                                          | 0,03                             | 3,8                              | 15,4                            | 0,23                                | 3,7            |
|       | 5                      | 35            | F                                          | 0,02                             | 2,6                              | 11,5                            | 0,21                                | 3,9            |
|       | 6                      | 58            | Fa                                         | 0,02                             | 1,6                              | 9,7                             | 0,19                                | 4,2            |
|       | Prom. ponderado perfil |               |                                            | 0,02                             | 2,6                              | 12,8                            | 0,21                                | 3,9            |
|       | Prom. pond. < 50 cm    |               |                                            | 0,03                             | 3,8                              | 17,1                            | 0,24                                | 3,7            |
| 2     | 1                      | 5             | Hojarasca y mantillo orgánico no analizado |                                  |                                  |                                 |                                     |                |
|       | 2                      | 7             | F                                          | 1,06                             | 0,0                              | 21,8                            | 2,46                                | 4,7            |
|       | 3                      | 6             | Fa                                         | 0,14                             | 1,4                              | 7,7                             | 0,39                                | 4,1            |
|       | 4                      | 18            | Fa                                         | 0,04                             | 2,3                              | 6,2                             | 0,21                                | 3,9            |
|       | 5                      | 36            | aF                                         | 0,02                             | 1,7                              | 5,3                             | 0,17                                | 4,0            |
|       | 6                      | 18            | Fa                                         | 0,02                             | 1,9                              | 5,9                             | 0,17                                | 3,8            |
|       | 7                      | 68            | Fa                                         | 0,03                             | 2,1                              | 6,7                             | 0,18                                | 3,6            |
|       | 8                      | 22            | Fa                                         | 0,04                             | 2,0                              | 5,1                             | 0,22                                | 3,4            |
|       | Prom. ponderado perfil |               |                                            | 0,07                             | 1,8                              | 6,5                             | 0,28                                | 3,7            |
| 3     | Prom. pond. < 50 cm    |               |                                            | 0,19                             | 1,5                              | 8,2                             | 0,24                                | 4,0            |
|       | 1                      | 5             | Fa                                         | 1,16                             | 0,0                              | 14,9                            | 2,56                                | 5,1            |
|       | 2                      | 8             | Fa                                         | 5,15                             | 0,0                              | 9,1                             | 6,90                                | 5,4            |
|       | 3                      | 11            | Fa                                         | 2,71                             | 0,0                              | 7,2                             | 4,41                                | 5,0            |
|       | 4                      | 37            | Fa                                         | 0,77                             | 0,6                              | 4,3                             | 1,74                                | 4,8            |
|       | Prom. ponderado perfil |               |                                            | 1,73                             | 0,4                              | 6,3                             | 2,96                                | 4,9            |
| 4     | Prom. pond. < 50 cm    |               |                                            | 1,94                             | 0,3                              | 6,8                             | 3,23                                | 4,9            |
|       | 1                      | 4             | Fa                                         | 0,960                            | 0,0                              | 4,4                             | 1,36                                | 4,5            |
|       | 2                      | 21            | Fa                                         | 0,680                            | 0,3                              | 2,9                             | 0,92                                | 4,6            |
|       | 3                      | 7             | Fa                                         | 0,450                            | 0,0                              | 2,2                             | 1,52                                | 4,6            |
|       | 4                      | 21            | aF                                         | 0,200                            | 0,2                              | 1,9                             | 0,35                                | 5,1            |
|       | 5                      | 40            | Fa                                         | 0,210                            | 0,5                              | 3,1                             | 0,35                                | 5,3            |
|       | Prom. ponderado perfil |               |                                            | 0,36                             | 0,3                              | 2,8                             | 0,61                                | 4,9            |
| 5     | Prom. pond. < 50 cm    |               |                                            | 0,50                             | 0,2                              | 2,6                             | 0,86                                | 4,7            |
|       | 1                      | 8             | Fa                                         | 3,300                            | 0,0                              | 9,6                             | 4,37                                | 4,4            |
|       | 2                      | 14            | Fa                                         | 2,050                            | 0,7                              | 8,1                             | 2,60                                | 4,2            |
|       | 3                      | 98            | Fa                                         | 0,490                            | 2,3                              | 9,3                             | 0,70                                | 4,2            |
|       | Prom. ponderado perfil |               |                                            | 0,86                             | 1,9                              | 9,2                             | 1,17                                | 4,2            |
|       | Prom. pond. < 50 cm    |               |                                            | 1,38                             | 1,5                              | 9,0                             | 1,82                                | 4,2            |

Prom. pond.= promedio ponderado. HORIZ.= horizonte, TEXT.= textura, Ca INT.= calcio intercambiable, Al INT.= aluminio intercambiable, CIC= capacidad de intercambio catiónico.

siguientes propiedades: porcentaje de carbono orgánico total de todos los horizontes (%COT); carbono de las huminas; carbono de los ácidos húmicos (AH); carbono de los ácidos fúlvicos (AF); carbono no humificado (NH); cmol kg<sup>-1</sup> de calcio intercambiable (Ca INT); cmol kg<sup>-1</sup>

generated in the reaction by UV-visible spectrophotometry (Gilabert de Brito *et al.*, 2015). The chemical fractioning of the OM was done with its extraction with a solution 0.1 M Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and 0.1 M NaOH in atmosphere of N<sub>2</sub>, followed by precipitation of the HA when acidifying the extract and the

de aluminio intercambiable (Al INT);  $\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$  de CIC; suma de bases intercambiables; pH en agua 1:1.

El COT se evaluó por el método de combustión húmeda, basado en la oxidación del carbono orgánico por una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado y la posterior determinación de los iones  $\text{Cr}^{+3}$  generados en la reacción, por espectrofotometría UV-visible (Gilabert de Brito *et al.*, 2015). El fraccionamiento químico de la MO se realizó mediante su extracción con una solución 0,1 M  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  y 0,1 M NaOH en atmósfera de  $\text{N}_2$ , seguida por la precipitación de los AH al acidificar el extracto y la separación final de los AF y sustancias no húmicas (NH) al pasar el sobrenadante a través de una columna de resina polivinilpirrolidona, de acuerdo al procedimiento descrito por Ciavatta *et al.* (1990), lo que permitió determinar el porcentaje del carbono total extraído ( $\text{CET} = \text{AH} + \text{AF} + \text{NH}$ ), el carbono en los AF, en AH y en NH por el método de combustión húmeda (Gilabert de Brito *et al.*, 2015). El carbono en las huminas se calculó por la diferencia entre el COT y CET. La tasa de humificación (TH) se estimó por la ecuación:  $\text{TH} = ((\text{AF} + \text{AH})/\text{COT}) \times 100$ , donde AF, AH y COT son los porcentajes de C de los ácidos fúlvicos, húmicos y del carbono orgánico total, respecto al suelo. Los otros atributos se midieron según las técnicas especificadas en el manual de FAGRO-UCV (1993), sobre el material menor a 2 mm. La homogeneidad de los perfiles se determinó mediante el índice de homogeneidad múltiple (IHM), según el procedimiento

final separation of the FA and non humic substances (NH) going the supernatant through a column of polyvinylpyrrolidone resin, according to the procedure described by Ciavatta *et al.* (1990), which allowed determining the percentage of total extracted carbon ( $\text{CET} = \text{AH} + \text{AF} + \text{NH}$ ), the carbon in FA, HA and NH by the method of wet combustion (Gilabert de Brito *et al.*, 2015). The carbon in humins was calculated by the difference between the TOC and CET. The humification rate (HR) was estimated by the equation:  $\text{HR} = ((\text{FA} + \text{HA})/\text{TOC}) \times 100$ , where FA, HA and TOC are the percentage of C of fulvic and humic acids and total organic carbon regarding the soil. The other attributes were measured according to the specified techniques in the manual of FAGRO-UCV (1993), on the materials lower to 2 mm. The homogeneity of profiles was determined through the multiple homogeneity index (MHI), according to the procedure described by Jaimes and Elizalde (1991). The relation among some variables and their meaning was determined by means of the correlation coefficient and T Student test of Excel (Microsoft Excel 2016, version V3).

## Results and discussion

The five soil profiles were different regarding their depth, number of horizons and most of the chemical properties studied, but were similar in relation to their textures (tables 1 and 2), being the sand content the fraction that presented the highest

descrito por Jaimes y Elizalde (1991). La relación entre algunas variables y su significación se determinó por medio del coeficiente de correlación y la prueba t de Student de la hoja de cálculo Excel (Microsoft Excel 2016, versión V3).

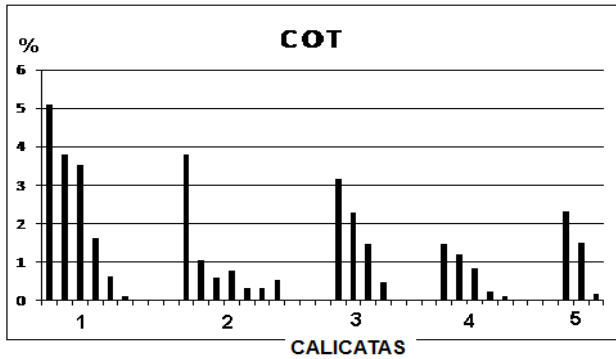
## Resultados y discusión

Los cinco perfiles de suelo fueron diferentes en cuanto a su profundidad, número de horizontes y la mayor parte de las propiedades químicas estudiadas, pero no en cuanto a sus texturas (cuadros 1 y 2), siendo el contenido de arena la fracción que presentó la mayor diferencia entre los perfiles, aunque siempre fue alto. Con base al IHM, al tomar en cuenta las cinco propiedades relacionadas con la MO de cada horizonte (%COT, %C en huminas, AH, AF y en NH), los suelos de los sitios 2 y 5 fueron los más homogéneos, a diferencia de los puntos 3 y 4 que se mostraron más heterogéneos. Ello significó que en los perfiles 2 y 5, estas variables estuvieron más correlacionadas entre sí y sus coeficientes de variación fueron más bajos que en los demás (Elizalde, 1997).

Como era de esperar, en cada suelo los contenidos de COT de los horizontes superficiales siempre fueron más elevados que en los demás horizontes (figura 1). Esos contenidos disminuyeron progresivamente desde el punto 1 (más alto) al punto 4; pero los dos horizontes superficiales del punto 5 (el más bajo), presentaron más COT que los respectivos horizontes del punto 4; ello indicó que el contenido

difference among the profiles, even though it was always high. Based on the MHI, when considering the five properties related to the OM of each horizon (%TOC, %C in humin, HA, FA and NH), the soils of the area 2 and 5 were more homogenous, different to the points 3 and 4, which showed to be more heterogeneous. This means that in the profiles 2 and 5 these variables were more correlated in between and their variation coefficients were lower than the rest (Elizalde, 1997).

As expected, in each soil the TOC content of the superficial horizons were always higher than in the rest of the horizons (figure 1). Those contents reduced progressively from the point 1 (the highest) to the point 4; but both superficial horizons of the point 5 (the lowest) presented more TOC than the corresponding horizons of the point 4, this indicated that the TOC content of these horizons was not only related to the height of the point. The weighted average of the TOC content in the superior 50 cm of each profile showed a defined tendency to increase in relation to the altitude ( $R^2= 0.95$ ;  $y= 0.0013x - 0.1077$ ). The differences in the altitude that caused the differences in the weather and the vegetal cover, had an effect on the content and TOC composition of the superficial horizons. The same tendency agreed to the results showed by Jaimes and Elizalde (1990a). Additionally, Ochoa *et al.* (2000) found a positive and highly significant correlation among the TOC and altitude in soils in the basin of the river Santo Domingo (Merida and Barinas states, Venezuela) in a study that included 256 profiles in altitudes



**Figura 1. Porcentaje de carbono orgánico total (COT) de los diferentes horizontes de las calicatas, desde el punto más alto (1) hasta el más bajo (5). En cada perfil la profundidad de los horizontes incrementa desde las columnas de la izquierda hacia la derecha.**

**Figure 1. Percentage of total organic carbon (TOC) of the different pits horizons from the highest point (1) until the lowest (5). On each profile the depth of the horizons increased from the columns from left to right.**

de COT de dichos horizontes no se relacionó únicamente con la altura del punto. Aun con ello, el promedio ponderado del contenido de COT en los 50 cm superiores de cada uno de los perfiles, mostró una tendencia definida a aumentar en relación a la altura ( $R^2= 0,95$ ;  $y= 0,0013x - 0,1077$ ). Las diferencias en la altura, que conllevaron a diferencias en el clima y la cobertura vegetal, incidieron sobre el contenido y composición del COT de los horizontes superficiales. Esta misma tendencia concordó con los resultados de Jaimes y Elizalde (1990a). También Ochoa *et al.* (2000) encontraron una correlación positiva y altamente significativa entre el COT y la altitud en suelos de la

from 800 to 3,450 masl and where was concluded that the variability of the organic carbon was related to the height and the soil attributes that were more influenced by the climatic elements whose dynamic depended on the altitude. Likewise, Mogollón *et al.* (2015) agreed to the same tendency in relation to the organic carbon of the soil and the geographic position in an altitudinal gradient of Península de Paraguaná (Venezuela) from 1 to 400 masl. Regarding the rest of the latitudes, in seven profiles located throughout an altitudinal gradient from 607 to 1,168 masl in a Mediterranean weather in Córdoba, Spain, it was observed a variation of the organic carbon from 2.73 to 3.99%

cuenca del río Santo Domingo (estados Mérida y Barinas, Venezuela), en un estudio que incluyó 256 perfiles entre altitudes de 800 y 3.450 msnm y en el que se concluyó que la variabilidad del carbono orgánico estuvo estrechamente asociada con la altitud y con los atributos edáficos que fueron más influenciados por los elementos climáticos cuya dinámica dependió de la altitud. Asimismo, Mogollón *et al.* (2015) coincidieron con la misma tendencia en relación al carbono orgánico del suelo y la posición topográfica en un gradiente altitudinal de la Península de Paraguaná (Venezuela) entre 1 y 400 msnm. Respecto a otras latitudes, en siete perfiles localizados a lo largo de un gradiente altitudinal entre 607 y 1.168 msnm en clima Mediterráneo, en Córdoba (España), se encontró una variación del carbono orgánico entre 2,73 y 3,99% a la profundidad de 0-25 cm, correspondiendo los valores más bajos a los dos sitios ubicados a menor altura y al evaluar las reservas del contenido de carbono orgánico total de los pedones se registró una clara variación condicionada por la posición topográfica (Parras-Alcántara *et al.*, 2015). En la figura 1 también puede verse que en el suelo 2, formado a partir de sedimentos coluviales, el contenido de COT descendió de manera irregular con la profundidad. Ello fue un indicio que ratificó la naturaleza poligénica de los materiales parentales de ese perfil.

Con relación a la composición de la MO, pudo observarse (cuadro 3), que un alto porcentaje del COT (57 a 73% del COT, en promedio) se encontró

at a depth of 0-25 cm, corresponding the lowest values to both areas located at a lower height, and when evaluating the total soil organic carbon stock was observed a clear variation conditioned by the topographic position (Parras-Alcántara *et al.*, 2015). In figure 1 can be observed than in the soil 2 formed after colluvial sediments, the TOC content reduced irregularly with the depth. This ratified the polygene nature of the parent materials of that profile.

In relation to the OM composition, was observed that a high TOC percentage (57 to 73% of TOC, in average) was found as humin and constituted the most abundant fraction in all the soils, fact that agreed to the studies carried out in the basin of Valencia's Lake (in which is located the basin of Maracay river as a sub-basin) (Ruiz and Paolini, 2005). The prevalence of humin showed the tendency to the concentration of more resistant forms, but FA and non humid carbon, which represented less mature structures, were more abundant in the OM of the highest soils, as a result of the highest intensity of the provision of fresh OM which was exposed to a lower temperature in a more humid environment, in soils with low content of the clay fraction. A similar finding took place in developed soils in a toposequence of calcareous materials that extended from the coast mountain to the Mediterranean coast of Valencia (Spain); in this case, the soils on limestone and non-agricultural use of the coast mountain were the ones with the highest content of total organic carbon and clay, compared to

**Cuadro 3. Promedios ponderados de los porcentajes de las fracciones de carbono orgánico (expresados como porcentajes respecto al carbono orgánico total)\*.**

**Table 3. Weighted averages of the fraction percentages of organic carbon (expressed as percentages in relation to total organic carbon)\*.**

| Punto |                  | % COT | % C Huminas | % CAH | % CAF | % C NH | Tasa Humif. |
|-------|------------------|-------|-------------|-------|-------|--------|-------------|
| 1     | Prom. pond.      | 0,96  | 64          | 6     | 14    | 14     | 20          |
|       | Prom. pond.<50cm | 2,09  | 67          | 7     | 12    | 13     | 19          |
| 2     | Prom. pond.      | 0,72  | 57          | 12    | 16    | 12     | 28          |
|       | Prom. pond.<50cm | 1,46  | 56          | 12    | 14    | 13     | 26          |
| 3     | Prom. pond.      | 1,11  | 72          | 12    | 8     | 8      | 20          |
|       | Prom. pond.<50cm | 1,25  | 72          | 12    | 8     | 8      | 20          |
| 4     | Prom. pond.      | 0,49  | 73          | 11    | 7     | 11     | 18          |
|       | Prom. pond.<50cm | 0,82  | 73          | 10    | 6     | 11     | 16          |
| 5     | Prom. pond.      | 0,46  | 67          | 13    | 11    | 8      | 24          |
|       | Prom. pond.<50cm | 0,88  | 69          | 14    | 13    | 8      | 27          |

\*Las fracciones del carbono orgánico están expresadas como porcentaje respecto al carbono orgánico total (y no respecto al suelo); sobre esa base está calculado el valor de la tasa de humificación (TASA HUMIF.), por lo que la misma es igual a la suma del carbono en ácidos húmicos más el carbono en ácidos fúlvicos. Prom. pond.= promedio ponderado. COT= porcentaje de carbono orgánico total, C Huminas= carbono de las huminas, CAH= carbono de los ácidos húmicos, CAF= carbono de los ácidos fúlvicos, CNH= carbono no humificado, Tasa Humif.= tasa de humificación.

en forma de huminas y constituyó la fracción más abundante en todos los suelos, hecho que concordó con estudios realizados en la cuenca del Lago de Valencia (dentro de la cual se localiza la cuenca del río Maracay como una subcuenca) (Ruiz y Paolini, 2005). El predominio de las huminas manifestó la tendencia hacia la concentración de las formas más resistentes, pero los AF y el carbono no humificado, que representaron estructuras menos maduras, fueron más abundantes en la MO de los suelos más altos, como resultado de la mayor intensidad del aporte de MO fresca, que fue expuesta a menor temperatura, en un ambiente más húmedo, en suelos con bajo

the soils of agricultural use located in almost flat topography, but in all the points considered the humin was the most abundant fraction and with a similar gradient to the indicated by TOC (Molina *et al.*, 2008). Due to the occurrence of frequent forest fires in the basin of the Maracay River, particularly in the area under study, it was not discarded that these have had an influence on the high content of carbon associated with the humins, forming part of the TOC as mentioned by Almendros and González-Vila (2012).

The rest of the components of OM had from 6 to 16% of TOC. The values found in humins and HA in the total

contenido de la fracción de arcilla. Un hallazgo similar tuvo lugar en suelos desarrollados en una toposecuencia de materiales calcáreos que se extendió desde la montaña litoral hasta la costa mediterránea valenciana (España); en ese caso, los suelos sobre calizas y uso no agrícola de la montaña litoral, resultaron los de mayor contenido de carbono orgánico total y arcilla, en comparación con los suelos de utilización agrícola ubicados en topografías casi llanas, pero en todos los puntos considerados, la humina fue la fracción más abundante y siguió un gradiente semejante al indicado para el COT (Molina *et al.*, 2008). Debido a la ocurrencia de frecuentes incendios forestales en la cuenca del Río Maracay y particularmente en la zona de estudio, no se descartó que estos hayan influido sobre el elevado contenido de carbono asociado a las huminas, formando parte del COT, como han encontrado Almendros y González-Vila (2012).

Cada uno de los demás componentes de la MO contuvo entre 6 y 16% del COT. Los valores encontrados para las huminas y los AH en los perfiles totales, no se relacionaron con la altura del sitio de muestreo, pero los de los AF y del NH tuvieron una clara relación con la altura. Cuando se consideró el contenido promedio de los 50 cm superficiales, todos los componentes de la MO, salvo los AH, presentaron altos valores de  $R^2$  con la altura, como fue el caso del C no humificado ( $R^2=0,98$ ;  $y=0,0263e^{0,0015x}$ ).

Los valores de Ca intercambiable fueron muy bajos en todos los perfiles (cuadro 2) y representaron un

profiles were not related to the height of the sampling area, but the ones of FA and NH had a clear relation to the height. When the average content of the superficial 50 cm was considered, all the components of the OM, except HA, presented high values of  $R^2$  with the height, as the case of the C non humified ( $R^2=0.98$ ;  $y=0.0263e^{0.0015x}$ ).

The values of exchangeable Ca were low in all the profiles (table 2) and represented a very low percentage of the exchangeable complex in the pits 1 and 2, but reached higher proportions in the rest, due to the increment of Ca and the reduction of the value of CEC. On each profile, the highest content occurred in the superficial horizon, except in the pit 3, where the highest value presented in the second horizon. The average content of the pits 1, 2, 4 and 5 followed a crescent sequence from 1, which was at a higher height until 5 (located at a lower height), but pit 3 presented a very high relatively value, being out of the sequence and surpassing the rest of the profiles. In this research, it was not observed a clear relationship between the content of organic carbon and the exchangeable Ca, as mentioned in the rest of the investigations, even in Venezuela. For example, in the basin of the river Santo Domingo, it was found that the behavior of organic carbon in the soils located in different topographic position was significantly related to the content of calcium (Ochoa *et al.*, 2000). All the profiles presented Al INT (table 2) and the average content of the totality of the samples was  $1.4 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ , which represented 17% of the CEC. As observed in the figure 2,

porcentaje muy bajo del complejo de intercambio en las calicatas 1 y 2, pero alcanzaron proporciones mayores en las demás, debido tanto al incremento del Ca, como a la disminución del valor de la CIC. En cada perfil el mayor contenido ocurrió en el horizonte superficial, salvo en la calicata 3, donde el mayor valor se presentó en el segundo horizonte. El contenido promedio de las calicatas 1, 2, 4 y 5 siguió una secuencia creciente desde la 1, que se encontraba a mayor altura, hasta la 5 (ubicada a la menor altura), pero la calicata 3 presentó un valor relativamente muy alto, por lo que se salió de la secuencia y superó a todos los demás perfiles. En este estudio, no se observó una clara relación entre el contenido de carbono orgánico y el de Ca intercambiable, como se ha hallado en otras investigaciones, inclusive en Venezuela. Por ejemplo, en la cuenca del río Santo Domingo se comprobó que el comportamiento del carbono orgánico en suelos ubicados en distintas posiciones topográficas, estuvo relacionado significativamente con el contenido de calcio (Ochoa *et al.*, 2000).

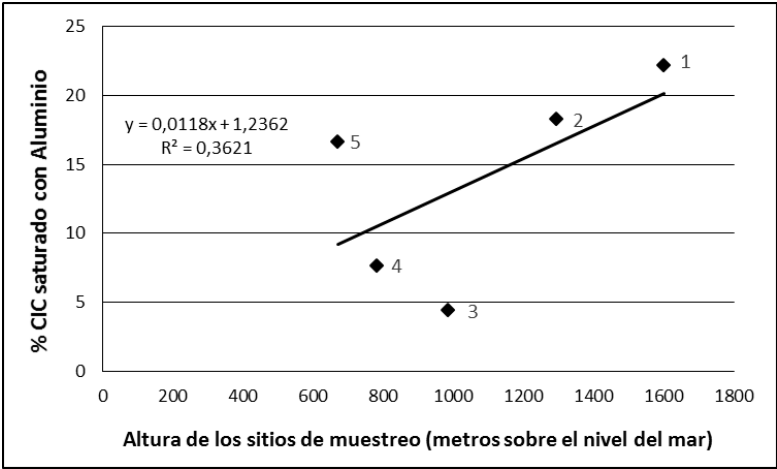
Todos los perfiles presentaron Al INT (cuadro 2) y el contenido promedio de la totalidad de las muestras fue de  $1,4 \text{ cmol kg}^{-1}$ , lo que representó el 17% de la CIC. Como muestra la figura 2, este porcentaje fue mayor a 15% en los perfiles 1, 2 y 5, y menor a 10% en los perfiles 3 y 4. El contenido de Al INT tendió a ser mayor en los horizontes profundos, con excepción de la calicata 1 (cuadro 2). En los puntos 1 hasta 4, el promedio ponderado del contenido de Al INT fue directamente proporcional a la altura del sitio ( $R^2 = 0,96$ ), pero

this percentage was higher to 15% in profiles 1, 2 and 5, and lower to 10% in the profiles 3 and 4. The content of Al INT was higher in the deep horizons, excepting pit 1 (table 2). In points 1 to 4, the weighted average of the AL INT content was directly proportional to the height of the area ( $R^2 = 0.96$ ), but that tendency was not followed by the soil of the point 5, that even when it was at a lower height it presented a relatively high quantity of Al INT, mainly in the inferior horizon.

The CEC was generally low, excepting in the first horizons of pits 1 and 2, where presented medium values (table 2). In both the total profiles as well as in the superficial 50 cm, it increased with the height of the area, though in the profile of the point 5 it was relatively high even when it was at a lower height.

The sum of the exchangeable bases ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$ ), presented very low values in all the profiles (table 2). The percentage values of the sum of the bases in relation to the CEC followed the same tendency of Ca, with a crescent sequence from the profile 1 to 5, excepting profile 4, whose content of exchangeable bases regarding CEC of the profile was superior to the rest.

The soils were classified as strongly acids considering the criterion of Casanova (2005) (table 2). In general, these results agreed to the indicated by Ríos (2002) for other toposequency located in the same basin. In profiles 1 and 4 formed from the regolith, pH increased with the depth; meanwhile, in the other profiles formed from colluvial and colluvial-alluvial



**Figura 2. Figura 2. Porcentaje promedio de la capacidad de intercambio catiónico saturado con Al para cada calicata, respecto a la altura sobre el nivel del mar de los sitios de muestreo. (CIC = capacidad de intercambio catiónico).**

**Figure 2. Weighted average of the saturated cation Exchange capacity with Al for each pits in relation to the height above sea level of the sampling areas. (ICC= Interchange cation capacity)**

esa tendencia no fue seguida por el suelo del punto 5 que, aun cuando estaba a menor altura, presentó una relativamente elevada cantidad de Al INT, principalmente en su horizonte inferior.

La CIC en general fue baja, excepto en los primeros horizontes de las calicatas 1 y 2, donde presentó valores medianos (cuadro 2). Tanto en los perfiles totales como en los 50 cm superficiales, incrementó con la altura del sitio, aunque en el perfil del punto 5 fue relativamente alta aun cuando se encontraba a la menor altura. La suma de las bases intercambiables ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$ ), presentó valores muy bajos en todos los perfiles (cuadro 2). Los valores porcentuales

sedimentary materials, the pH of the deep horizons was lower than in the superior horizons (table 2). There was not a clear relationship between the pH and the altitude on the area under study, but in the two profiles located at a higher height, the weighted average was lower to 4 while in the remaining three it was higher to 4. In concordance to these results, Mogollón and Martínez (2009), in soils of “Sierra de San Luis”, Falcon state, Venezuela, found that the pH varied inversely with the height. The chemical properties mentioned were linked to the volume and precipitation frequency in the cloudy forest, which acting on an excessively well drained environment, caused a significant

de la suma de bases respecto a la CIC, siguió la misma tendencia que el Ca, con una secuencia creciente desde el perfil 1 hasta el 5, con la excepción del perfil 4, cuyo contenido de bases intercambiables respecto a la CIC de ese perfil, fue muy superior a todos los demás.

Los suelos clasificaron como fuertemente ácidos, tomando en cuenta el criterio de Casanova (2005), (cuadro 2). En general, estos resultados concordaron con lo indicado por Ríos (2002) para otra toposecuencia ubicada en la misma cuenca. En los perfiles 1 y 4, formados a partir de regolitos, el pH incrementó con la profundidad, mientras que, en los otros perfiles, formados a partir de materiales sedimentarios coluviales y coluvio-aluviales, el pH de los horizontes profundos fue menor que el de los horizontes superiores (cuadro 2). No hubo una relación clara entre el pH y la altitud en la zona bajo estudio, pero en los dos perfiles ubicados a mayor altura, el promedio ponderado fue menor a 4, mientras que en los otros tres fue mayor a 4. En concordancia con esos resultados, Mogollón y Martínez (2009), en suelos de la Sierra de "San Luis", estado Falcón, Venezuela, encontraron que el pH varió de manera inversa con la altura.

Las propiedades químicas señaladas se vincularon al volumen y frecuencia de las precipitaciones en la selva nublada que, actuando sobre un ambiente de bien a excesivamente drenado, ocasionaron una lixiviación significativa de las bases cambiables en estos suelos, las que no alcanzaron

lixiviación de la changeable bases of these soils which were not enough to neutralize the formed organic acid, causing a higher acidification of the soils. This higher acidity increased the weathering of the minerals, favoring that the Al of the structures started being exchangeable. The clay content of most of the samples were lower (less to 10%); thus, the most frequent textural type was sandy-loamy when eliminating the thick fragments, except the first four horizons of the pit 1 and the second of the pit 3, which were loamy (table 2). All soils presented high contents of thick skeleton, mainly profiles 2, 3 and 5 (table 4) formed from the colluvial or colluvial-alluvial sediments, which has a high proportion of thick blocks (the highest presented a volume close to 0.3 m<sup>3</sup>), while in the profiles 1 and 4, formed from the regoliths, the thick dominant fraction had a gravel size. All the profiles tended to present more clay in the superior horizons than in the inferior (table 4).

It is evident the importance of the OM regarding the CEC, particularly the positive relation between this property and the C content of the FA ( $R^2= 0.84$ ;  $P<0.05$ ). The positive relationship between the OM and the CEC has been proved in different areas of Venezuela; for example, in the investigations performed by Rodríguez and Elizalde (1997), Ochoa *et al.* (2000) and Hernández-Hernández *et al.* (2008). Even though the criterion used to select the sampling areas was the height above the sea level, the profiles represented different ecosystems in relation to the totality of the factors of

para neutralizar los ácidos orgánicos formados, lo cual condujo a la mayor acidificación de los suelos. Esta mayor acidez incrementó la meteorización de los minerales, favoreciendo que el Al de las estructuras pasara a ser intercambiable. Los contenidos de arcilla de la mayoría de las muestras fueron bajos (menos de 10%); por lo cual, la clase textural más frecuente, cuando se eliminaron los fragmentos gruesos y grava, fue la franco arenosa, salvo los cuatro primeros horizontes de la calicata 1 y el segundo de la calicata 3 que fueron francos (cuadro 2). Todos los suelos presentaron altos contenidos de esqueleto grueso, principalmente los perfiles 2, 3 y 5 (cuadro 4), formados sobre sedimentos coluviales o coluvio-aluviales, que contenían una alta proporción de bloques gruesos (los mayores presentaron un volumen cercano a 0,3 m<sup>3</sup>), mientras que en los perfiles 1 y 4, formados a partir de regolitos, la fracción guesa dominante fue de tamaño grava. Todos los perfiles tendieron a presentar más arcilla en los horizontes superiores que en los inferiores (cuadro 4).

Es evidente, la importancia de la MO respecto a la CIC, particularmente la relación positiva entre esta propiedad y el contenido de C de los AF ( $R^2 = 0,84$ ;  $P < 0,05$ ). La relación positiva entre la MO y la CIC se ha comprobado en numerosas áreas de Venezuela; por ejemplo, en los trabajos de Rondón de Rodríguez y Elizalde (1997), Ochoa *et al.* (2000) y Hernández-Hernández *et al.* (2008).

Si bien el criterio utilizado para seleccionar los sitios de muestreo fue la altura sobre el nivel del mar, los

soil formation. This is the consequence of the interdependence of those factors, as mentioned by different authors (Jenny, 1994; Huggett, 1995; Elizalde, 2011). As a consequence of the latter, it could be assumed that the highest OM content of the soil in the forest compared to the soils in grassland, responded to the abundant vegetation present in the area, related to the highest water availability; the surface was covered by leaflet and animal macro-organisms that also provided organic residues. All this contributed to a higher accumulation of OM, whose decomposition at the same time was slower compared to the soils of other toposequency points under study, due to the existing temperature gradient, on which the temperature reduced when the altitude increased, consequently, the temperature regime of the soils changed from iso-hyperthermal to iso-thermal. The conditions of the soils located at a lower height, in the area with less precipitation and higher temperature, higher human intervention and submitted almost annually to vegetation fires, cause the loss of the vegetation, accelerate erosion, fertility loss, alteration of the microbial activity, reduction of the humidity retention capacity, factors that have an influence in the progressive reduction of the vegetal cover, consequently, on the OM quantity that enters the soil, which is summed to the highest mineralization rate and the loss of organic carbon by erosion. The increment of TOC when reducing the temperature and increasing the precipitation with the altitude was also observed in an

**Cuadro 4. Algunas características texturales de los suelos estudiados.**  
**Table 4. Some texture characteristics of the soils studied.**

| Puntos | Origen y características texturales                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | % Promedio de arcilla/tierra fina* |            |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------|
|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Perfil completo                    | 50 cm sup. |
| 1      | Sobre regolito, sin fragmentos gruesos, pero con grava cuarzosa y de gneis granítico alterado.                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 12,6                               | 19,4       |
| 2      | Sobre sedimento coluvial, con 50 % del volumen ocupado por fragmentos gruesos de gneis biotítico, con meteorización baja a moderada, a veces recubiertos de coloides arcillosos y de materia orgánica.                                                                                                                                                                          | 4,2                                | 4,3        |
| 3      | Sobre sedimento coluvial con hasta 60 % del volumen ocupado por fragmentos gruesos muy alterados y friables de gneis a biotita.                                                                                                                                                                                                                                                 | 4,3                                | 5,0        |
| 4      | Sobre regolito de granito muy alterado, con mucha grava cuarzosa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 6,3                                | 7,7        |
| 5      | Sobre sedimento coluvio-aluvial. Los horizontes superiores tienen abundante grava de cuarzo y rocas alteradas. El horizonte inferior presenta más de 80% del volumen con grandes fragmentos de granito sumamente alterados, que en parte se incorporaron a la muestra analizada, por ser muy friables e imposibles de separar por tamizado, ya que se desmoronan con facilidad. | 9,3                                | 10,5       |

\* Tierra fina: fracción del suelo < 2 mm.

perfiles representaron ecosistemas diferentes respecto a la totalidad de los factores formadores de suelos. Ello fue consecuencia de la interdependencia de esos factores, como han postulado numerosos autores (Jenny, 1994; Huggett, 1995; Elizalde, 2011).

Como consecuencia de lo expuesto, podría deducirse que el mayor contenido de MO de los suelos bajo bosque respecto a los suelos bajo herbazal, respondió a la abundancia de vegetación presente

altitudinal gradient in Peninsula de Paraguana, but the influence of the vegetation was also important since the highest values of the reservoir of TOC were observed in the soils under forest vegetation located in the highest area of the topographic gradient (Mogollón *et al.*, 2015). Similarly, the vegetation effect on the TOC content was evident in a study carried out on the basin of the reservoir “La Mariposa”, Venezuela, where four adjacent ecosystems were selected: secondary savannah (originated by the

en el área, relacionada con la mayor disponibilidad de agua; la superficie se mantuvo cubierta de hojarasca y macro organismos animales que también aportaron residuos orgánicos. Todo ello contribuyó a una mayor acumulación de MO, cuya descomposición, a su vez, se hizo más lenta en comparación con los suelos de los otros puntos de la toposecuencia en estudio, debido al gradiente de temperatura existente, según el cual la temperatura fue disminuyendo a medida que aumentó la altitud, de manera que el régimen de temperatura de los suelos cambió de isohipertérmico a isotérmico. Las condiciones que soportan los suelos ubicados a menor altura, en las zona con menor precipitación y mayor temperatura, mayor intervención humana y sometidos casi anualmente a incendios de vegetación, conlleva a la pérdida de vegetación, erosión acelerada, pérdida de fertilidad, alteración de la actividad microbiana, disminución de la capacidad de retención de humedad, factores éstos que influyen en la disminución progresiva de la cobertura vegetal y, en consecuencia, de la cantidad de MO que ingresa al suelo, lo cual se suma a la mayor tasa de mineralización y a la pérdida de carbono orgánico por erosión.

El incremento del COT al disminuir la temperatura y aumentar la precipitación con la altitud, también pudo apreciarse en un gradiente altitudinal en la Península de Paraguaná, aunque la influencia de la vegetación también resultó importante, ya que se observaron los mayores valores de las reservas de

human action: frequent fire for more than 60 years, deforestation, tilling and crops), wet forest, pine monocrop and monocrop of eucalyptus, all located in soils with a slope and height of approximately 45% and 1400 masl (Hernández-Hernández *et al.*, 2008).

In that essay significant changes were observed in the TOC: the lowest content was observed in the soils with pines, followed by the secondary savannah and the ones of eucalyptus. TOC reduced from 55 to 85% when the vegetation of wet forest was replaced by species such as plantations of eucalyptus and pines. As explained by the authors, herbaceous plants of the savannah, whose vegetal material had lower fiber content, provided less residues and tended to remain as dead material with less contact with the soil. On the other hand, the slow decomposition of the organic materials provided by the pines, due to its content of hydrophobic compounds and chemical inhibitors, caused the absence of the necessary soil-fauna for the decomposition. In another research where the TOC content was analyzed in more than 7.000 soil samples under different land uses, climates and lithologies from northern of Spain (Galicia, Asturias, Cantabria and Basque Country), was found that the percentage of soil organic carbon varied according to land use (higher in forest and scrub soils and lower in agricultural soils) and climate, and there was a highly significant correlation between soil organic carbon content and mean annual precipitation (Calvo de Anta *et al.*, 2015). Contrary to the results of the previous researches, the findings

COT en los suelos bajo vegetación boscosa ubicada en el sitio más elevado del gradiente topográfico (Mogollón *et al.*, 2015). De forma similar, el efecto de la vegetación sobre el contenido de COT se hizo evidente en un estudio llevado a cabo en la cuenca del embalse “La Mariposa”, Venezuela, en el que se seleccionaron cuatro ecosistemas adyacentes: sabana secundaria (originada por la acción humana: quema frecuente desde hace más de 60 años, deforestación, labranza y cultivos), bosque húmedo, monocultivo de pinos y monocultivo de eucaliptos, ubicados todos en suelos de ladera, con una pendiente y altitud de aproximadamente 45% y 1400 msnm (Hernández-Hernández *et al.*, 2008). En ese ensayo se observaron cambios significativos en el COT: el contenido más bajo se encontró en el suelo bajo pinos, seguido por el de sabana secundaria y el de eucaliptos. El COT disminuyó entre 55 y 85% cuando la vegetación del bosque húmedo fue reemplazada por especies como plantaciones de eucaliptos y pinos. Según explicaron los autores, las plantas herbáceas de la sabana, cuyo material vegetal tuvo menor contenido de fibra, aportaron menos residuos y tendieron a permanecer más como material muerto en pie con un menor contacto con el suelo. Por otra parte, la descomposición lenta del material orgánico aportado por los pinos, debido a su contenido de compuestos hidrofóbicos e inhibidores químicos, provocó la ausencia de la edafofauna necesaria para la descomposición.

En otra investigación en la que se analizó el contenido de COT en más de 7.000 muestras de suelos

of the investigation carried out by Parras-Alcántara *et al.* (2015) in soils in the south of Spain, showed that the TOC content was not affected by the climatic variations in an altitudinal gradient on which the precipitation increased and the temperature reduced with the elevation, but it depended on the soil development on each landscape position; thus, the lower contents of TOC were observed in the lowest topographic positions, where the soils were shallower. In the case of the current research, the depths of the profiles varied throughout the sequence, assuming that the tendencies found were mainly due to the altitude of each area and the changes of conditions related (atmospheric weather, soil humidity regime and vegetal cover, among others).

Another factor that contributed to the highest TOC content of the soil was related to its highest clay content, which favored the fixation of humic substances as complex organ-mineral and preserved the OM. The highest clay quantity possibly responded to own characteristics of its parent material, but also to the higher alteration degree on this soil of the primary and secondary minerals, provoked by the abundant precipitation, a well external and internal drainage, the abundant presence of organic acids and the highest evolution time. The latter was deduced from the position of the landscape in a dominant area with great vegetal cover and low slope, and seems to ratify by the increment of the clay content that the soil profile showed from 30 to 60 cm. The highest TOC values in the pedon located in

del norte de España (Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco) bajo diferentes tipos de ocupación, condiciones climáticas y litología, se encontró que el porcentaje de carbono orgánico varió de acuerdo al uso del suelo (mayor en suelos forestales y con matorral, y menor en suelos de cultivo) y al clima, reconociéndose una correlación altamente significativa entre el porcentaje de COT y la precipitación media anual (Calvo de Anta *et al.*, 2015). En oposición a los resultados de los trabajos anteriores, los hallazgos de la investigación llevada a cabo por Parras-Alcántara *et al.* (2015) en suelos del sur de España, mostraron que el contenido de COT no fue afectado por las variaciones climáticas en un gradiente altitudinal en el que la precipitación aumentaba y la temperatura disminuía con la elevación, sino que dependió del desarrollo del suelo en cada posición del paisaje, de modo que los contenidos menores de COT se observaron en las posiciones topográficas más bajas, donde los suelos eran menos profundos. En el caso del presente trabajo las profundidades de los perfiles fueron variables a lo largo de la secuencia, por lo que se presume que las tendencias encontradas fueron debidas principalmente al piso altitudinal de cada sitio y a los cambios de condiciones relacionadas con ello (clima atmosférico, régimen de humedad de los suelos y cobertura vegetal, entre otras).

Otro factor que contribuyó al mayor contenido de COT del suelo 1, específicamente, estuvo relacionado

the lowest topographic position (670 masl) regarding the profile located at 782 masl, might also be related to the highest clay content in the profile, which surpassed the one of the rest of the points, except the soil 1.

The results ratified that the quantity and composition of OM was controlled, as well as the other soil characteristics, by the interaction of the factors of soil formation that caused and regulated a very complex set of processes. From the practical point of view, this investigation provides relevant information regarding the influence of the topographic position, the slope, weather, and human intervention on different soil properties that condition the susceptibility to produce mass landslides in the studied area (Pineda *et al.*, 2011; Elizalde *et al.*, 2015), which will help to create awareness to the population about the risks exposed, and to recognize the increment of the vulnerability with the occupation and intervention of unstable areas in the basin of the Maracay river providing information to different public and private organisms involved in the problematic of the area. From the theoretical point of view, there is the possibility of using the information generated specifically about the composition of OM throughout the toposequency to carry out further studies at different detail levels, besides of the feasibility of using it as a didactic resource for different educative institutions.

con su mayor contenido de arcilla, la cual favoreció la fijación de sustancias húmicas en la forma de complejos órgano-minerales y preservó la MO. La mayor cantidad de arcilla respondió posiblemente a características propias de su material parental, pero también al mayor grado de alteración en este suelo de los minerales primarios y secundarios, provocado por la abundante precipitación, el buen drenaje externo e interno, la abundante presencia de ácidos orgánicos y el mayor tiempo de evolución. Esto último se dedujo de la posición en el paisaje en un sitio dominante, con gran cobertura vegetal y de baja pendiente y parece ratificarse por el incremento del contenido de arcilla que mostró el perfil de suelo entre 30 y 60 cm. Los valores más altos de COT en el pedón que se encontraba en la posición topográfica más baja (670 msnm) con respecto al perfil ubicado a 782 msnm, también podrían estar relacionados con el mayor contenido de arcilla en ese perfil, que superó el de los otros puntos, excepto al del suelo 1.

Los resultados ratificaron que la cantidad y composición de la MO estuvo controlada, al igual que las otras características del suelo, por la interacción de los factores formadores, que desencadenaron y regularon un conjunto muy complejo de procesos. Desde el punto de vista práctico esta investigación aporta información relevante con respecto a la influencia de la posición topográfica, la pendiente, el clima y la intervención humana, sobre varias propiedades de los suelos que condicionan la susceptibilidad

## Conclusions

The results showed that the studied soils selected *a priori*, because were under different altitudes, also represented different situations in relation to the materials of origin, weather, relief, biota, human activities and possible formation time (or intensity of processes). For that reason, these constitute a pedogeomorphological sequence that reaffirms the interdependence of the factors of soil formation of the soils. The differences in the height, that cause differences in the weather and vegetal cover, have an influence on the content and composition of TOC of superficial horizons. The prevalence of humin shows the tendency to the concentration of more resistant forms, but the fulvic acids and non humic carbon which represent less mature structures, are more abundant in the OM of the highest soils with less temperature, more humidity and more intensity by the provision of fresh organic matter.

The exchangeable capacity was determined by the humic OM more than for clayey minerals and mainly relied in the fulvic acid. The profile of point 5, which represented the lowest area of the sequence, did not follow the tendency of the others because the origin materials and type of prevalence were different to the rest.

*End of English version*

---

a producirse deslizamientos en masa en la zona estudiada (Pineda *et al.*, 2011; Elizalde *et al.*, 2015) lo que coadyuvará a concienciar a la población sobre los riesgos a los cuales está expuesta y a reconocer el incremento de la vulnerabilidad con la ocupación e intervención de zonas inestables dentro de la cuenca del río Maracay, proporcionando además, información a diferentes organismos públicos y privados, involucrados en la problemática de la zona. Desde el punto de vista teórico, se abre la posibilidad de utilizar la información generada específicamente sobre la composición de la MO a lo largo de una toposecuencia como la analizada en este trabajo, para realizar estudios posteriores a diferentes niveles de detalle, además de la factibilidad de utilizarla como un recurso didáctico, para diferentes instituciones educativas.

## Conclusiones

Los resultados demostraron que los suelos estudiados, seleccionados a priori porque se encontraban en diferentes pisos altitudinales, también representaron situaciones diferentes en relación a materiales de origen, clima, relieve, biota, actividades humanas y posiblemente tiempo de formación (o intensidad de procesos). Por ello, constituyen una secuencia pedogeomorfológica que reafirma el concepto de la interdependencia de los factores formadores de los suelos. Las diferencias en la altura, que conllevan a diferencias en el clima y la cobertura vegetal, inciden sobre el contenido y

composición del COT de los horizontes superficiales. El predominio de las huminas manifiesta la tendencia hacia la concentración de las formas más resistentes, pero los ácidos fúlvicos y el carbono no humificado, que representan estructuras menos maduras, son más abundantes en la MO de los suelos más altos, de menor temperatura, con mayor humedad y mayor intensidad del aporte de materia orgánica fresca.

La capacidad de intercambio estuvo determinada por la MO humificada más que por minerales arcillosos y residió principalmente en los ácidos fúlvicos. El perfil del punto 5, que representó el sitio más bajo de la secuencia, no siguió la tendencia de los otros, porque sus materiales de origen y su tipo de relieve fueron distintos al resto.

## Literatura citada

- Almendros, G. and F.J. González-Vila. 2012. Wildfires, soil carbon balance and resilient organic matter in Mediterranean ecosystems. A review. *SJSS*. 2(2):8-33.
- Andressen, R. 2007. Circulación atmosférica y tipos de climas. p. 238-328. *En*: GeoVenezuela. Tomo 2, Cap. 13. Medio Físico y Recursos Ambientales, Fundación Empresas Polar. Caracas.
- Calvo de Anta, R., E.L. Calvo, F. Casás Sabarís, J.M. Galiñanes Costa, N. Matilla Mosquera, F. Macías Vázquez, M. Camps Arbestain and N. Vázquez García. 2015. Soil organic carbon in northern Spain (Galicia, Asturias, Cantabria and País Vasco). *SJSS*. 5(1):41-53.
- Carrero, J., M. Ruiz y M. Ríos. 2007. Propiedades fisicoquímicas y bioquímicas de suelos intervenidos bajo bosque de

- galería y sabana en la ladera sur del Parque Nacional Henri Pittier. *Acta Cient. Venez.* 58(3-4): 84-91.
- Casanova, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. 2ª Edic. CDCH-UCV. 379 p.
- Ciavatta, C., M. Govi, L. Vittori Antisari and P. Sequi. 1990. Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. *J. Chromatogr. A.* 509:141-146.
- Elizalde, G. 1997. El índice de homogeneidad múltiple y su utilidad para la cartografía detallada del sistema pedogeomorfológico. *Rev. Fac. Agron. (UCV).* 23(2):187-206.
- Elizalde, G. 2011. Clasificación sistemática de categorías de paisajes. Propuesta de un marco conceptual. *Venesuelos* 19(1):23-43.
- Elizalde, G., M. Daza y P. García. 2015. Un enfoque integral para el estudio de riesgos en cuencas hidrográficas. Conceptos y criterios básicos. XXI CVCS. San Cristóbal.
- FAGRO-UCV. 1993. Métodos de análisis de suelos y plantas utilizados en el Laboratorio General del Instituto de Edafología. Cuadernos de Agronomía, año 1, N° 6. Maracay, Venezuela. 89 p.
- Fernández-Badillo, A. y G. Ulloa. 1990. Fauna del Parque Nacional Henri Pittier, Venezuela: composición y diversidad de la mastofauna. *Acta Cient. Venez.* 41:50-63.
- Gilbert de Brito, J., I. Arrieche Luna, M. León Rodríguez, I. López de Rojas (Comp.). 2015. Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Maracay, VE. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. CENIAP. 215 p.
- 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.
- Huggett, R.J. 1995. *Geocology: an evolutionary approach.* Routledge. London/New York. 324 p.
- Jaimes, E. y G. Elizalde. 1990a. Contenido de materia orgánica de epipedones de suelos venezolanos de acuerdo a gradientes altotérmicos. *Rev. Agri. And.* 5:25-38.
- Jaimes, E. y G. Elizalde. 1990b. El factor altitud como criterio de delineación pedogeomorfológica en áreas de relieve montañoso. *Rev. Agri. And.* 5:17-24.
- Jaimes, E. y G. Elizalde. 1991. Determinación de un índice de homogeneidad múltiple en sistemas pedogeomorfológicos montañosos. *Rev. Agri. And.* 6:25-46.
- Jenny, H. 1994. Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. Dover Publications, Inc. New York. Disponible en: <http://www.soilandhealth.org/01aglibrary/010159.Jenny.pdf>. Fecha de consulta: diciembre de 2016.
- Microsoft Excel. 2016. Excel Made Easy-A Beginner's Guide. Disponible en: <http://www.keynotesupport.com/excel-basics/excel-for-beginners-guide.shtml>.
- Mogollón, J. y A. Martínez. 2009. Variación de la actividad biológica del suelo en un transecto altitudinal de la sierra de San Luis, estado Falcón. *Agronomía Trop.* 59(4):469-479.
- Mogollón, J., W. Rivas, A. Martínez, Y. Campos y E. Márquez. 2015. Carbono orgánico del suelo en un gradiente altitudinal en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Multiciencias* 15(3):271-280.
- Molina, M., M. Soriano, J. Llinares, V. Pons y P. Salvador. 2008. Relaciones entre contenido y tipo de materia orgánica, usos del suelo y arcilla en una toposecuencia de materiales calcáreos desde la montaña litoral a la costa en Alzira (España). *Geotemas*, N°. Extra 10. p. 101-104.
- Ochoa, G., J. Oballos, J. Sánchez, J. Sosa, J. Manrique y J. Velásquez. 2000. Variación del carbono orgánico en función de la altitud. Cuenca del río Santo Domingo. *Vzla. Rev. Geog. Venez.* 41(1):79-87.

- Parras-Alcántara, L., B. Lozano-García, and A. Galán-Espejo. 2015. Soil organic carbon along an altitudinal gradient in the Despeñaperros Natural Park, southern Spain. *Solid Earth* 6:125-134.
- Pineda, M.C., G. Elizalde y J. Viloria. 2011. Determinación de áreas susceptibles a deslizamientos en un sector de la Cordillera de la Costa Central de Venezuela. *Interciencia* 36(5):370-377.
- Ríos, M. 2002. Descripción de una toposecuencia de suelos en la cuenca del río Maracay con fines didácticos. Trabajo de Ascenso a la categoría de profesor Titular. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico Rafael Alberto Escobar Lara. Maracay. 178 p.
- Rondón de Rodríguez, C. y G. Elizalde. 1997. Estabilidad física y química de los microagregados de dos unidades de suelos evolucionados. *Agronomía Trop.* 47(4):409-423.
- Ruiz, M. y J. Paolini. 2005. Parámetros de humificación en suelos cultivados bajo riego. *Agrochimica* 49(1-2):79-86.
- Sánchez, B., M. Ruiz y M. Ríos. 2005. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Trop.* 55:507-534.
- Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.