

# Caracterización de tres perfiles de suelos derivados de la formación Isnotú, Estado Trujillo, Venezuela

*Characterization of three soil profiles derived from the formation Isnotú, State Trujillo, Venezuela*

*Recibido: 05/03/2019*

*Aprobado: 15/05/2019*

**Orlando González**

**Andreína Ángulo**

**Bárbara Campos**

**Zuly Millán**

**Darwin Godoy**

Investigadores y profesopres  
de la Universidad Pedagógica  
Experimental Libertador

**Resumen:** Se analizaron propiedades físico-químicas y mineralógicas de tres suelos desarrollados al oeste de la población de Betijoque, estado Trujillo. El método consistió en determinar propiedades físico-químicas de los suelos como estructura, consistencia, compacidad, color, textura, pH, %SB, CIC, Al<sup>+</sup> e H<sup>+</sup> intercambiable y CO. La mineralogía se realizó por Difracción de Rayos X. Los resultados sugieren que las propiedades físicas analizadas son inherentes al material parental; el pH es ácido a fuertemente ácido, el %SB y CIC son bajos, la acidez intercambiable alta y el CO varía de bajo a alto. El análisis mineralógico reveló principalmente la presencia de cuarzo, caolinita y halloysita cuyo origen está asociado a herencia mineral, aunque la caolinita y halloysita por las condiciones de acidez que presentan estos suelos pudieron originarse por neoformación. En conclusión, estos suelos se encuentran en una etapa de moderada a alta evolución

pedogenética, lo que permite clasificarlos tentativamente como ultisoles.

**Palabras clave:** Pedogénesis, material parental, herencia, arcillas minerales, Estado Trujillo, Venezuela.

**Abstract:** Physicochemical and mineralogical properties of three soils developed west of the town of Betijoque, Trujillo state, were analyzed. The method consisted in determining the physicochemical properties of soils such as structure, consistency, compactness, color, texture, pH, % SB, CIC, Al + e H + interchangeable and CO. The mineralogy was performed by X-ray Diffraction. The results suggest that the physical properties analyzed are inherent in the parental material; the pH is acidic to strongly acidic, the % SB and CIC are low, the exchangeable acidity high and the CO varies from low to high. The mineralogical analysis revealed mainly the presence of quartz, kaolinite and halloysite whose origin is associated with mineral inheritance, although kaolinite and halloysite due to the acidity conditions presented by these soils could originate from neof ormation. In conclusion, these soils are in a stage of moderate to high pedogenetic evolution, which allows them to be tentatively classified as ultisols.

**Key words:** Pedogenesis, parental material, inheritance, mineral clays, Trujillo State, Venezuela.

### *Introducción*

Las variaciones del relieve, geología y clima, aunado a una compleja historia geológica determinan la existencia de una gran variedad de suelos en el territorio venezolano (Schargel, 2011). Gran parte de este territorio es montañoso y por esta condición, no fueron considerados en los estudios convencionales de suelos, cuyo objetivo era el inventario y evaluación de tierras para uso agrícola (Pineda et al., 2011). El suelo es un cuerpo natural diferenciado en horizontes compuestos de material orgánico y mineral que varía de modo continuo en el espacio y en el tiempo (Figueroa, et al., 2018), y se diferencia del material parental subyacente en morfología, propiedades físicas, químicas y biológicas (Jenny, 1941; Figueroa, et al., 2018). Los factores que permiten definir el estado del sistema suelo son:

clima, organismos, topografía, material parental, tiempo y actividades humanas (Jenny, 1941). De estos factores, la influencia del material parental sobre algunas de las propiedades físico-químicas y mineralógicas del suelo, han sido analizadas en varios sectores de los Andes venezolanos (Malagón, 1982; Oballos (1997); Manrique et al., 1997; Velásquez et al., 1997; Alarcón et al., 1998; Bezada, 1990; González, 1995; González y Bezada, 2001; Oballos y Ochoa, 2008; Sánchez et al., 1998; Briceño et al., 2001; Ochoa et al., 2004, Ochoa et al., 2008, Ochoa et al., 2009 y Ochoa et al., 2010. Estudios similares fueron realizados por Morales y Vilorio (2005) en la cuenca alta del río Guárico, por González et al. (2008) en la Depresión de Yaracuy y por Pineda et al. (2011), en la cuenca alta del río Caramacate.

Al respecto, algunos suelos presentan características adquiridas durante su desarrollo y otros suelos han evolucionados a partir de procesos geológicos acumulados en el tiempo y sus rasgos son el producto de la herencia de las formaciones geológicas, que suministran el material al suelo (Arnold, 1983; citado por Ochoa et al., 2008). Por tanto, en todos los estados de desarrollo varios procesos contribuyen a la formación del suelo, pero algunos procesos contribuyen más que otros (Ochoa et al., 2008). En ese sentido, la influencia del material parental en muchas de las propiedades del suelo varía en grado. Su influencia es grande en las regiones secas y en los estadios iniciales de desarrollo del suelo, mientras que en las regiones húmedas y con el paso del tiempo, la influencia del material parental es menos clara (Birkeland, 1999, pag. 148). El material originario se deja sentir en el suelo determinando en parte el color, la textura, estructura y la reacción, entre otras (Porta et al., 1999, pag. 477). Por lo tanto, es necesario resaltar la importancia que ejerce el material parental a través de la composición mineralógica, que como parte esencial del material de origen del suelo, es un reflejo fiel de los procesos que actúan o han actuado sobre él. Los materiales del suelo, heredados del material parental y presentes en

las primeras etapas de su desarrollo, van cambiando dinámicamente de acuerdo con las fuerzas de alteración en la búsqueda, siempre, del equilibrio con el medio (Malagón, 1979; p.714).

En tal sentido, los minerales presentes en el suelo indican tanto un intemperismo absoluto como la intensidad del mismo, asociándose entonces con el estado de evolución del suelo y con sus propiedades físicas-químicas. En ese mismo orden de ideas, los minerales presentes en las fracciones gruesas (arenas y limos) se relacionan, en general, con los materiales parentales que los contienen, mientras que la fracción arcillosa revela generalmente procesos de síntesis pedológica; aunque, muchas veces gran parte de la mineralogía arcillosa está influida por la herencia de materiales parentales sedimentarios, tales como las lodolitas o rocas calcáreas (Malagón, op cit.). Igualmente, la mineralogía de la fracción arcillosa se relaciona a su vez en el suelo, con sus propiedades tanto físicas como químicas, propiedades que determina en gran parte (Malagón, 1979; p. 715).

El propósito de esta investigación es analizar las propiedades físico-químicas y mineralógicas, de tres perfiles de suelo originados sobre las rocas sedimentarias que componen a la Formación Isnotú, con el fin de tratar de establecer en función de las propiedades antes señaladas, si existe alguna relación entre el material parental de estos suelos y su grado de evolución pedogenética y de esta manera contribuir con el estudio o conocimiento de los suelos originados, en este sector del sistema montañoso de los Andes orientales venezolanos.

### *Materiales y métodos*

#### *Localización y caracterización del área de estudio*

Tres perfiles de suelos similares en cuanto a su material parental, fueron estudiados en el flanco norte de la Serranía de Trujillo, entre las poblaciones

de Betjoque e Isnotú, en la Parroquia José Gregorio Hernández del municipio Rafael Rangel, estado Trujillo (Figura 1).



Figura 1. Localización del área de estudio.

Geomorfológicamente, la región de estudio forma parte de la provincia de la Cordillera de los Andes nororientales del estado Trujillo, específicamente, en el piedemonte oriental de la Serranía de Trujillo. Geológicamente, la zona de estudio forma parte del orógeno andino el cual es el resultado de un contexto geodinámico complejo, relacionado con una amplia zona tectónicamente activa asociada a esfuerzos transpresionales oblicuos como resultado de la interacción de las placas del Caribe, Nazca y Suramérica (Audemard y Audemard, 2002; Audemard, 2003). Como consecuencia de este proceso, se produjeron entre otros rasgos geológicos un acortamiento de la cordillera andina hacia los piedemontes llanero y zuliano.

El material parental de los tres perfiles de suelo está constituido esencialmente por lutitas y en menor grado por areniscas de la Formación Isnotú que es de edad Mioceno Medio a Tardío (González de Juana et al., 1980). Estas rocas fueron descritas originalmente por Sutton (1946) en el flanco noroccidental de Los Andes venezolanos con los nombres de formaciones Palmar, Isnotú y Betijoque. En el área que comprende este estudio, afloran las rocas del Formación Isnotú en la que predominan las lutitas (65%) con numerosas areniscas intercaladas y capas subordinadas de lutitas laminares, carbón y conglomerados. Las lutitas son macizas pero blandas de color gris claro, corrientemente abigarradas en rojo, púrpura y amarillo y localmente carbonáceas; las areniscas son de color variable, principalmente blancas a gris claro y se presentan en capas de 2 a 3 metros de espesor (Sutton, 1946; citado por González de Juana et al, 1983). El clima del área de estudio es tropical de sabana (Aw) según la clasificación climática de Köppen (1948) y los montos de precipitación varían entre 1000 y 1500 mm; la temperatura media anual es de 26,5 °C que se relaciona con el piso térmico subtropical. La vegetación original del área de estudio fue deforestada, para dar paso a una vegetación secundaria densa herbácea y arbustiva, y pequeños cultivos de conuco; el régimen de humedad de los suelos es údico o ústico.

### *Análisis físicos*

Inicialmente, el muestreo en campo de los suelos se realizó en las lutitas arcillosas meteorizadas (regolito) de la Formación Isnotú, en dos cortes verticales (perfiles 1 y 2) y una calicata (perfil 3). Estos perfiles fueron limpiados para describir su morfología y nomenclatura de los horizontes de los suelos de acuerdo a Birkeland (1999) y se realizó la toma de muestras por cada horizonte genético identificado. Igualmente, se describieron en campo algunas propiedades físicas cualitativas como la textura, estructura, consistencia y compacidad, para cada horizonte según Birkeland (1999). Posteriormente, las muestras fueron secadas al aire para la determinación de la textura en el laboratorio para la fracción menor de 2 mm por el método del Hidrómetro (Bouyoucos, 1962) y el color del suelo se determinó en campo mediante la tabla de colores Munsell (1990).

*Análisis químicos*

El pH en pasta de los suelos analizados se realizó en una relación 1:1 en agua y KCl, mediante un pH-Metro (Metrohm modelo E-588). En el Centro de Estudios para el Desarrollo Agroecológico-Tropical (CEDAT) de la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, se determinaron los cationes de cambio (Ca, Na, K y Mg), el porcentaje de Saturación de Bases (%SB) y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), por el método de Acetato de Amonio (NH<sub>4</sub>OAc) según Chapman (1965); el Hidrógeno Intercambiable (H<sup>+</sup>) y Aluminio intercambiable (Al<sup>+3</sup>) con extractante de Cloruro de Potasio (Humbert y Absi, 2002) y el contenido de Carbono Orgánico (CO), por el método Calorimétrico de Anderson e Ingram (1993).

| Perfiles     | Coordenadas<br>Altitud                    | Horizontes     | Profundidad<br>(cm) | Color  | Estructura      | Consistencia           |                         |                         | Compacidad      |                           |
|--------------|---|----------------|---------------------|--|-----------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------|
|              |   |                |                     |  |                 | Dureza                 | Adhesividad             | Friabilidad             |                 | Plasticidad               |
| Azavodilia 1 | 9°21'14" N<br>70°43'02" W<br>679 msnm     | A              | 0 - 13              | Marrón<br>am anillento<br>oscuro (10YR<br>3/6) | Sub-<br>angular | Extremadamente<br>duro | Ligeramente<br>adhesivo | Extremadamente<br>firme | Muy<br>plástico | Moderadamente<br>compacto |
|              |   | B <sub>1</sub> | 13 - 28             | Marrón<br>am anillento<br>(10YR 5/6)           | Sub-<br>angular | Extremadamente<br>duro | Ligeramente<br>adhesivo | Extremadamente<br>firme | Muy<br>plástico | Moderadamente<br>compacto |
|              |   | B <sub>2</sub> | 28 - 53             | Marrón<br>am anillento<br>(10YR 5/6)           | Sub-<br>angular | Extremadamente<br>duro | Ligeramente<br>adhesivo | Extremadamente<br>firme | Muy<br>plástico | Muy compacto              |
|              |   | Cox            | 53 - 92             | Rojo amarillento<br>(5YR 5/8)                  | Sub-<br>angular | Extremadamente<br>duro | Ligeramente<br>adhesivo | Extremadamente<br>firme | Muy<br>plástico | Muy compacto              |
| Azavodilia 2 | 9°21'11,8" N<br>70°43'5,4" W<br>680 msnm  | A              | 0 - 16              | Marrón<br>am anillento<br>oscuro (10YR<br>3/6) | Sub-<br>angular | Duro                   | Ligeramente<br>adhesivo | Muy Firme               | Muy<br>plástico | Moderadamente<br>compacto |
|              |   | B <sub>1</sub> | 16 - 42             | Marrón<br>am anillento<br>oscuro (10YR<br>5/6) | Sub-<br>angular | Duro                   | Ligeramente<br>adhesivo | Extremadamente<br>firme | Muy<br>plástico | Muy compacto              |
|              |   | B <sub>2</sub> | 42 - 60             | Marrón<br>am anillento<br>(10YR 5/6)           | Sub-<br>angular | Duro                   | Ligeramente<br>adhesivo | Extremadamente<br>firme | Muy<br>plástico | Muy compacto              |
|              |   | Cox            | 60 - 85             | Rojo amarillento<br>(5YR 5/8)                  | Sub-<br>angular | Extremadamente<br>duro | Ligeramente<br>adhesivo | Extremadamente<br>firme | Muy<br>plástico | Muy compacto              |
|              |   | Cu             | 85 - 110            | Marrón pálido<br>10YR 6/3                      | Sub-<br>angular | Extremadamente<br>duro | Ligeramente<br>adhesivo | Muy Firme               | Muy<br>plástico | Muy compacto              |
| Azavodilia 3 | 9°20'48,6" N<br>70°42'43,3" W<br>789 msnm | A              | 0 - 5               | Marrón oliva<br>oscuro (10YR<br>3/6)           | Sub-<br>angular | Extremadamente<br>duro | Ligeramente<br>adhesivo | Extremadamente<br>firme | Muy<br>plástico | Moderadamente<br>compacto |
|              |   | B <sub>1</sub> | 5 - 38              | Marrón oliva<br>claro<br>(10YR 5/6)            | Sub-<br>angular | Extremadamente<br>duro | Ligeramente<br>adhesivo | Extremadamente<br>firme | Muy<br>plástico | Muy compacto              |
|              |   | B <sub>2</sub> | 38 - 69             | Marrón<br>am anillento<br>(10YR 5/6)           | Sub-<br>angular | Extremadamente<br>duro | Ligeramente<br>adhesivo | Muy Firme               | Muy<br>plástico | Muy compacto              |
|              |   | Cu             | 69 - 107            | Gris 10YR 6/1<br>(10YR 6/1)                    | Sub-<br>angular | Extremadamente<br>duro | Ligeramente<br>adhesivo | Muy Firme               | Muy<br>plástico | Muy compacto              |

Cuadro 1. Propiedades físicas cualitativas de los suelos estudiados

### *Análisis mineralógico*

El análisis mineralógico se realizó solo para el perfil Azuncelia 2 por ser el más representativo en cuanto a la cantidad de horizontes, por razones de costo y porque el material parental de los tres suelos es el mismo. Este análisis se llevó a cabo en la muestra total de suelo molido y con glicolación para la detección de arcillas expansivas, en todos los horizontes que contiene este perfil de suelo. La composición mineralógica de las arcillas, se determinó mediante la Difracción de Rayos X en el Laboratorio de Difracción y Fluorescencia de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Universidad Central de Venezuela. La abundancia relativa de los minerales detectados por este método, se estimó de forma semicuantitativa de acuerdo a la altura relativa e intensidad de los picos de reflexión obtenidos en los difractogramas.

### *Resultados y discusión*

#### *Morfología y propiedades físicas*

La morfología de los perfiles estudiados presenta la siguiente sucesión de horizontes: A/Bt1/Bt2/Cox, A/Bt1/Bt2//Cox/Cu y A/Bt1/Bt2/Cu, respectivamente (Cuadro 1). Estos suelos se originaron a partir de los materiales alteración (regolito) de las lutitas arcillo-arenosas de la Formación Isnotú. Este regolito presenta un color grisáceo similar al del material parental, observándose, moteados rojizos y grises que se asocian con procesos redox que ocurren en profundidad en los suelos estudiados. Las propiedades físicas cualitativas de estos suelos presentan ligeras diferencias entre los perfiles analizados (Cuadro 1). Así, por ejemplo, la estructura de todos los horizontes muestra una tendencia a formar agregados sub-angulares. Con relación a la plasticidad los suelos son muy plásticos y extremadamente duros a excepción de los horizontes A, Bt1 y Bt2 del perfil 2 que son de consistencia dura. La adhesividad de los suelos es ligeramente adhesiva y la friabilidad varía entre extremadamente firmes a muy firmes en alguno de los horizontes (horizonte Bt1, perfil 2 y horizonte Bt2,

perfil 3); la compacidad en la mayoría de los horizontes es muy compacta a moderadamente compacta (Horizontes A de los 3 perfiles y Bt1 y Bt2 del perfil 2; Cuadro 1). Tanto la estructura como la consistencia y la compacidad, parecen estar determinadas directamente por la característica textural de estos suelos; estos resultados sugieren que las propiedades físicas estudiadas están controladas por el material parental del suelo, por lo que este substrato litológico puede ser considerado como el factor dominante que condiciona las propiedades físicas cualitativas analizadas en estos pedones.

El análisis Cuantitativo de la textura de estos suelos sugiere que ellos son fundamentalmente arcillosos, salvo el horizonte A del perfil 1 y los horizontes del perfil 2, que son arcillo-arenosos (Cuadro 2). Los porcentajes ponderados de arena varían entre 31% (perfil 1), 39% (perfil 2) y 13% (perfil 3), mientras que los porcentajes de limo fluctúan entre 17% (perfiles 1 y 2) y 14% (perfil 3). Por su parte, la fracción arcillosa presenta porcentajes relativamente más altos que las fracciones de arena y limo, observándose valores ponderados de 53% (perfil 1), 44% (perfil 2) y 73% (perfil 3). En general, los tres perfiles muestran un incremento de la fracción arcillosa con la profundidad.

Cuadro 2. Textura de los perfiles de suelo del área de estudio.

| Perfiles    | Coordenadas<br>Altitud                    | Horizontes | Profundidad<br>(cm) | % Arena | % Limo | % Arcilla | Clase Textural         |
|-------------|---|------------|---------------------|---------|--------|-----------|------------------------|
| Azuncelia 1 | 9°21'14" N<br>70°43'02" W<br>679 msnm     | A          | 0-13                | 34      | 26     | 40        | Arcillo arenoso        |
|             |   | Bt1        | 13-28               | 26      | 18     | 56        | Arcilloso              |
|             |   | Bt2        | 28-53               | 26      | 16     | 58        | Arcilloso              |
|             |   | Cox        | 53-92               | 34      | 14     | 52        | Arcilloso              |
| Azuncelia 2 | 9°21'11,8" N<br>70°43'5,4" W<br>680 msnm  | A          | 0-16                | 20      | 28     | 52        | Arcilloso              |
|             |   | Bt1        | 16-42               | 38      | 16     | 46        | Arcillo arenoso        |
|             |   | Bt2        | 42-60               | 38      | 16     | 46        | Arcillo arenoso        |
|             |   | Cox        | 60-85               | 50      | 12     | 38        | Franco arcillo arenoso |
| Azuncelia 3 | 9°20'48,6" N<br>70°42'43,3" W<br>789 msnm | A          | 0-5                 | 26      | 18     | 56        | Arcilloso              |
|             |   | Bt1        | 5-38                | 18      | 10     | 72        | Arcilloso              |
|             |   | Bt2        | 38-69               | 20      | 12     | 68        | Arcilloso              |
|             |   | Cu         | 69-107              | 2       | 18     | 80        | Arcilloso              |

El color de los horizontes A en todos los perfiles es marrón amarillento oscuro (10YR 3/6) y los horizontes B<sub>1</sub> y B<sub>2</sub> el color es marrón amarillento (10YR 5/6), observándose la presencia de abundantes moteados grises (10YR 6/1), rojos (10R 4/8) y nódulos o concreciones de color negro o rojas, respectivamente (2,5YR 2,5/0 y 2,5YR 4/8); mientras que el color en los horizontes Cox, varía entre amarillento (10YR 7/8) y rojo amarillento (5YR 5/8), presentándose los mismos moteados reportados para los horizontes Bt2. Por su parte, el horizonte Cu es de color gris (10YR 6/1) con moteados rojizos (2,5YR 4/8; Cuadro 1). Esta propiedad de los suelos utilizada con precaución, permite reconocer cualitativamente los materiales de los horizontes del suelo y los procesos que han venido operando en éste (Birkeland, 1999). En ese sentido, los colores descritos

como el marrón amarillento se relaciona con la presencia de la Goetita, que ocurre normalmente en muchos tipos de suelos y materiales meteorizados de distintas regiones climáticas; mientras que los colores rojos se asocian con la presencia de hematita que tiene un alto poder de pigmentación y en muchos casos enmascara el color amarillo de la goetita (Schwertmann y Taylor, 1989).

Schwertmann y Taylor (1989), señalan que esta asociación de óxidos de hierro (Goetita-Hematita), se encuentra frecuentemente en los suelos de las regiones tropicales y subtropicales. En cuanto a su origen, es probable que la hematita resulte de la herencia mineral del material parental del suelo, las lutitas arcillosas que fueron descritas anteriormente y que se caracterizan por la presencia de esas coloraciones. Según los investigadores antes citados, los colores púrpura se producen por la agrupación y el incremento en el tamaño de los cristales de hematita, los cuales se presentan a menudo en sedimentos antiguos hematíticos. Por su parte, los colores grises también parecen ser heredados de las lutitas grises de la Formación Isnotú. Igualmente con relación al color de las concreciones, nódulos y moteados, que se presentan principalmente en los horizontes sub-superficiales, se infiere que los colores rojos se asocian con la presencia de hematita y los colores negros posiblemente con óxidos de manganeso. La precipitación de estos óxidos de Fe y Mn, sugieren ciertas condiciones de hidromorfía relacionadas con las aguas de infiltración producto de las precipitaciones relativamente abundantes que se producen en la región, generando el desplazamiento de estos cationes, que posteriormente precipitaran en profundidad en el sub-suelo formando las concreciones o nódulos y los moteados rojizos y grises. Los colores marrones oscuros que se presentan mayormente en los horizontes A, posiblemente también se relacionan con el mayor contenido de materia orgánica que caracteriza a estos horizontes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Propiedades químicas de los suelos estudiados

| Perfiles    | Coordenadas<br>Altitud                    | Horizontes | Profundidad<br>(cm) | pH               |      | CO   | MO   | Bases cambiables Cmol/100g |      |      |      |      |     | Σ Bases | %SB | CIC<br>Cmol/<br>100g |
|-------------|---|------------|---------------------|------------------|------|------|------|----------------------------|------|------|------|------|-----|---------|-----|----------------------|
|             |   |            |                     | H <sub>2</sub> O | KCl  |      |      | Ca                         | K    | Mg   | Na   | Al   | H   |         |     |                      |
| Azumcelia 1 | 9°21'14" N<br>70°43'02" W<br>679 msnm     | A          | 0-13                | 4,25             | 4,01 | 2,73 | 4,71 | 2,67                       | 0,23 | 1,90 | 0,32 | 1,8  | 0,2 | 5,12    | 10  | 5,5                  |
|             |   | Bt1        | 13-28               | 4,29             | 3,65 | 2,11 | 3,65 | 2,15                       | 0,19 | 2,35 | 0,65 | 6    | 1,6 | 5,34    | 12  | 4,5                  |
|             |   | Bt2        | 28-53               | 4,24             | 3,68 | 2,57 | 4,43 | 1,28                       | 0,27 | 2,25 | 0,26 | 10   | 2   | 4,06    | 9   | 4,5                  |
|             |   | Cox        | 53-92               | 4,39             | 3,57 | 0,85 | 1,47 | 0,68                       | 0,33 | 2,20 | 0,46 | 8,4  | 4   | 3,67    | 10  | 3,5                  |
| Azumcelia 2 | 9°21'11,8" N<br>70°43'5,4" W<br>680 msnm  | A          | 0-16                | 4,06             | 3,66 | 0,63 | 1,08 | 0,94                       | 0,15 | 2,07 | 0,09 | 5,2  | 0,8 | 3,25    | 8   | 4,25                 |
|             |   | Bt1        | 16-42               | 4,53             | 3,68 | 1,14 | 1,97 | 0,39                       | 0,06 | 0,55 | 0,12 | 9,3  | 3,9 | 1,12    | 2   | 6,25                 |
|             |   | Bt2        | 42-60               | 4,11             | 3,67 | 1,72 | 2,97 | 0,88                       | 0,25 | 1,64 | 0,54 | 7,4  | 3,4 | 3,31    | 5   | 6,25                 |
|             |   | Cox        | 60-85               | 4,72             | 3,59 | 0,98 | 1,69 | 0,47                       | 0,21 | 2,02 | 0,35 | 10   | 3,2 | 3,05    | 4   | 7,75                 |
| Azumcelia 3 | 9°20'48,6" N<br>70°42'43,3" W<br>789 msnm | A          | 0-5                 | 4,98             | 3,5  | 3,53 | 6,09 | 3,05                       | 1,62 | 2,48 | 0,14 | 0,9  | 0,3 | 7,29    | 21  | 3,0                  |
|             |   | Bt1        | 5-38                | 4,86             | 3,49 | 1,85 | 3,20 | 2,67                       | 0,22 | 2,47 | 0,17 | 10,8 | 2,4 | 5,53    | 11  | 5,25                 |
|             |   | Bt2        | 38-69               | 4,82             | 3,55 | 1,86 | 5,61 | 1,93                       | 0,16 | 2,37 | 0,83 | 17,2 | 1,2 | 5,29    | 6   | 6,75                 |
|             |   | Cu         | 69-107              | 4,86             | 3,55 | 3,25 | 3,20 | 1,05                       | 0,03 | 2,37 | 0,51 | 22   | 2,4 | 3,96    | 7   | 5,75                 |

### Propiedades químicas

Los resultados de los análisis químicos se presentan en el Cuadro 3. Tanto el pH en agua como en KCl es muy bajo y varían de extremadamente ácido a muy fuertemente ácidos. Estadísticamente, el pH en agua varía entre 4,98 y 4,06 con un promedio de 4,53 unidades de pH, mientras que para el pH en KCl, se observan valores que fluctúan entre 4,01 y 3,49, con un valor promedio de 3,64 (Cuadro 4); resultados que confirman lo anteriormente señalado. Resultados de pH en suelos similares a los de este estudio fueron reportados en la zona de Machiquez-Colón, estado Zulia (Peters y Villalobos, 1992). Las diferencias que se presentan entre el pH medido en agua y KCl, confirman la alta acidez potencial que se presenta en estos suelos. En general, el pH muestra pocos cambios con la profundidad en los perfiles analizados y los valores más altos se presentan en los horizontes A, y esto se debe probablemente al mayor contenido de materia orgánica que se encuentra en los horizontes superficiales. Estos valores de acidez, se relacionan con los altos valores de Al<sup>+3</sup> e H<sup>+</sup> intercambiables reportados en este estudio (Cuadro 3).

En los suelos analizados, predomina claramente el Al<sup>+3</sup> el cual representa aproximadamente el 88% del total de la acidez intercambiable, mientras que los

iones  $H^+$  representan el resto. En este sentido, la acidez de estos suelos se debe mayormente a los iones que provienen de la hidrólisis del  $Al^{+3}$  intercambiable, el cual produce un incremento en la concentración de hidrógeno en la solución del suelo, que resulta de la disociación del  $H^+$  intercambiable. Resultados similares fueron reportados para las lutitas cretácicas de las formaciones Colón, Capacho, Aguardiente y Palmar y para varios ordenes de suelo y materiales parentales en la región andina venezolana (Oballos y Ochoa, 2008; Ochoa et al., 2010). Por otro lado, en la literatura se ha señalado que valores tan bajos de pH como los que se reportan en esta investigación, se asocian con la presencia de minerales como la jarosita y la pirita: ambos minerales se forman y acumulan en un ambiente de meteorización química donde prevalecen las reacciones de reducción, pudiéndose formar en zonas costeras (Donner y Lynn, 1989) o sobre sedimentos y substratos orgánicos como las turberas o en el material carbonáceo como el que contienen las lutitas de la Formación Isnotú.

El contenido de CO varía de muy bajo (0,63%) a muy alto (4,0%), con un promedio de 0,63% (Cuadro 4). Resultados parecidos fueron reportados por Pineda et al. (2011) para suelos localizados en la cuenca del río Caramacate. En general, los valores más altos de CO se presentan en los horizontes A (perfiles 1 y 3), mientras que en el perfil 2 el contenido de CO en el horizonte A es bajo, pero con una tendencia a incrementarse con la profundidad (Cuadro 3). Este comportamiento del CO, parece relacionarse más con el material parental de los suelos que con procesos de translocación dentro del perfil. En consecuencia, el contenido de CO quizás se relaciona en parte con la composición de las rocas arcillosas de la Formación Isnotú; factor que podría explicar el aumento del CO con la profundidad debido a la presencia de material carbonáceo y turboso, en esta formación. Por lo tanto, el CO en profundidad puede ser considerado tentativamente como heredado del material parental de los suelos, a excepción de los resultados obtenidos para los horizontes A.

Los resultados con respecto a los cationes cambiables también se presentan en el Cuadro 3. En general, las bases cambiables presentan concentraciones bajas a muy bajas según los criterios de interpretación propuestos por Malagón (1982). Así por ejemplo, las concentraciones de Ca varían entre 3,05 y 0,39, con una media de 1,39 cmol/100g de suelo (Cuadro 4). En general, los máximos valores de Ca se presentan en los horizontes A y Bt1 con relación a los suelos

estudiados. En relación al K, este catión presenta valores extremos que fluctúan entre 0,03 y 1,62 con una media de 0,29 cmol/100g de suelo. Por su parte, el Mg muestra valores extremos de 0,55 y 2,48 con una media de 2,06, observándose una ligera tendencia a aumentar o disminuir con la profundidad, mientras que el Na muestra valores 0,09 y 0,83 y una media de 0,35 cmol/100g de suelo, respectivamente (Cuadro 4). De estos cationes el Mg es el que se encuentra en mayor proporción con respecto a los otros cationes de cambio (Cuadros 3 y 4). Estos resultados, permiten establecer una secuencia de adsorción para la mayoría de los horizontes en los tres perfiles estudiados, en cuanto a los niveles de concentración de bases que se presentan en el sistema y es la siguiente:  $Mg^{+} > Ca^{+} > K^{+} > Na^{+}$ .

*Cuadro 4. Estadística descriptiva de las propiedades químicas de los suelos estudiados*

| Estadísticos           | pH<br>H <sub>2</sub> O | pH<br>KCl | CO   | Ca   | K    | Mg   | Na   | Al   | H    | Bases<br>Cambia<br>bles | %<br>SB | CIC  |
|------------------------|------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------------------------|---------|------|
| Máximo                 | 4,98                   | 4,01      | 4,0  | 3,05 | 1,62 | 2,48 | 0,83 | 22,0 | 4,0  | 7,29                    | 21,0    | 7,75 |
| Mínimo                 | 4,06                   | 3,49      | 0,63 | 0,39 | 0,03 | 0,55 | 0,09 | 0,90 | 0,20 | 1,12                    | 2,0     | 3,0  |
| Media                  | 4,53                   | 3,64      | 2,09 | 1,49 | 0,29 | 2,06 | 0,35 | 9,52 | 2,10 | 4,21                    | 8,61    | 5,26 |
| Desviación<br>Estandar | 0,32                   | 0,14      | 1,07 | 0,89 | 0,40 | 0,51 | 0,22 | 5,88 | 1,27 | 1,51                    | 4,69    | 1,32 |

Los horizontes A de los perfiles 1 y 3 y el horizonte Bt1 del perfil 3, presentan una secuencia distinta como se muestra a continuación:  $Ca > Mg > Na > K$  y  $Ca > Mg > K > Na$ , respectivamente. Una jerarquización similar fue reportada para algunos horizontes de suelo desarrollados sobre depósitos cuaternarios en la región de Barinitas (Briceño et al., 2001). Según estos investigadores, cuando los contenidos de magnesio son superiores a los de calcio, esto indica un mayor grado de intemperismo en los suelos, lo cual sugiere procesos de alteración más avanzados en los horizontes Bt; en este estudio este comportamiento se observa en la mayoría de los horizontes de los perfiles analizados a excepción del horizonte A del perfil 1, donde los valores de Ca son mayores a los del Mg en este horizonte (Cuadro 3).

En general, los contenidos de bases cambiables pueden proceder de la meteorización del material originario, de la mineralización de la materia orgánica y de los aportes externos superficiales y subterráneos (Porta et al., 1999). En este estudio, la baja concentración de cationes básicos reportados parece relacionarse con el material parental del suelo. El análisis mineralógico realizado por Barrios y Lozano (2004) y Castro et al. (2005) en las areniscas de la Formación Isnotú, reveló la presencia de minerales como el cuarzo (23% y 60%), feldespato (11% y 21%) y fragmentos líticos de rocas metamórficas (esquistos, filitas, gneis y volcánicas no metamorfozadas), hematita-limolita, leucoxeno, muscovita-clorita-biotita y micas trazas y nódulos de hierro. Esta mineralogía, donde predomina el cuarzo como mineral esencial de estos sedimentos podría explicar tentativamente la baja presencia de bases en estos suelos.

Otro factor, además de la composición mineralógica del material parental, sería la precipitación que se produce en la región ya que la misma favorece la lixiviación de los de cationes básicos y esto se ve reflejado en el porcentaje de saturación de bases, cuyos valores extremos fluctúan entre 7,29% y 1,12% con un promedio de 4,21% (Cuadro 4). Según los criterios de interpretación de Malagón (1982), los valores reportados del %SB van de medianos a bajos, y estarían asociados a la presencia de arcillas del tipo 1:1 o caolinitas como se verá más adelante en el análisis de la fracción arcillosa. La CIC es baja y muestra un comportamiento similar al %SB; sus valores fluctúan entre 7,75 y 3,0 comol/100g de suelo, con un promedio de 5,26 comol/100g de suelo (Cuadro 4). Estos resultados también explicarían la alta acidez que se observa en estos suelos. Resultados similares fueron reportados en suelos de la cuenca del río Capaz (Oballos y Ochoa, 2008).

La acidez de cambio ( $Al^{+3} + H^+$ ) es muy alta para los suelos estudiados. El aluminio es el catión dominante en el complejo de cambio y sus valores varían entre 0,9 y 22 comol/100 g de suelo, con un promedio 9,52 comol/100g de suelo (Cuadro 4). En general, el aluminio tiende a incrementarse con la profundidad observándose los máximos valores en los horizontes B y C del perfil 3. Según Oballos y Ochoa (2008), el proceso responsable de la disponibilidad de aluminio intercambiable en la solución del suelo es una reacción de hidrólisis de Al a pH inferior a 5, condición que es común en los suelos analizados en esta investigación. Por lo general, el % de  $Al^+$  intercambiable en estos suelos supera el 50% y sus

valores varían entre 10,60 y 75,88% con un promedio de 54,52%. Porcentajes de saturación con Al, como los reportados en esta comunicación han sido asociados con la presencia de arcillas tipo caolinita y minerales arcillosos intermedios como las esmectitas aluminosas y caolinitas mal cristalizadas (Alarcón et al., 1998). Por su parte, el H<sup>+</sup> muestra valores extremos que varían entre 0,20 y 4,0 cmol/100 g de suelo con un promedio de 2,10 cmol/100 g de suelo (Cuadro 4). Los valores más bajos de H<sup>+</sup> se presentan en los horizontes A, observándose un incremento con la profundidad en los perfiles analizados (Cuadro 3); sólo en el perfil 3 se observa una ligera disminución de este catión en el horizonte Bt2. Manrique et al. (1997) y Ochoa et al. (2008), obtuvieron resultados parecidos o similares a los de este estudio para suelos desarrollados en las cuencas de los ríos Santo Domingo y Motatán.

Los porcentajes de acidez total en la mayoría de los horizontes de los suelos analizados superan el 60%, alcanzándose un valor mínimo de 18% y un máximo de 82%. Igualmente, la acidez total aumenta con la profundidad del perfil. En estudios previos en los Andes venezolanos, se reportaron porcentajes de saturación con aluminio similares a los de esta investigación (Briceño et al., 2001; Ochoa et al., 2010). Estos resultados confirman el carácter desaturado de los suelos, lo que sugiere que buena parte de los sitios de intercambio del complejo absorbente están ocupados por el Al<sup>+3</sup> y el H<sup>+</sup> (Briceño et al., 2001). Al parecer, esto se relaciona con la naturaleza del material parental de los suelos que probablemente experimentaron varios ciclos geológicos de transformación, por lo que la acidez observada en los mismos es inherente a la naturaleza ácida de estas rocas como lo sugieren Oballos y Ochoa (2008), para suelos originados sobre lutitas de diferentes formaciones geológicas en los Andes centrales venezolanos.

*Mineralogía de los suelos analizados*

Los resultados del análisis mineralógico del perfil 2, se presentan en el Cuadro 5 y en las figuras 2 y 3.

Cuadro 5. Análisis mineralógico de Rayos X semicuantitativo en muestra (molida) total de suelo.

| Perfil      | Horizontes | Profundidad<br>(cm) | Minerales primarios y arcillas |    |   |    |     |    |
|-------------|------------|---------------------|--------------------------------|----|---|----|-----|----|
|             |            |                     | K                              | Ms | M | S  | Q   | FM |
| Azuncelia 2 | A          | 0 - 16              | xx                             | tr | x | xx | xxx | x  |
|             | Bt1        | 16 - 42             | xx                             | tr | x | xx | xxx | x  |
|             | Bt2        | 42 - 60             | xx                             | tr | x | -  | xxx | x  |
|             | Cox        | 60 - 85             | xx                             | tr | x | -  | xxx | xx |
|             | Cu         | 85 - 110            | xx                             | tr | x | -  | xxx | xx |

K=Caolinita; Ms= muscovita ; M= Montmorillonita; S= Esmectita; Q= Cuarzo; FM= Feldespato microclina; XXX: Mucho; XX: Moderadamente; X: Poco; Tr: trazas; - : Nada

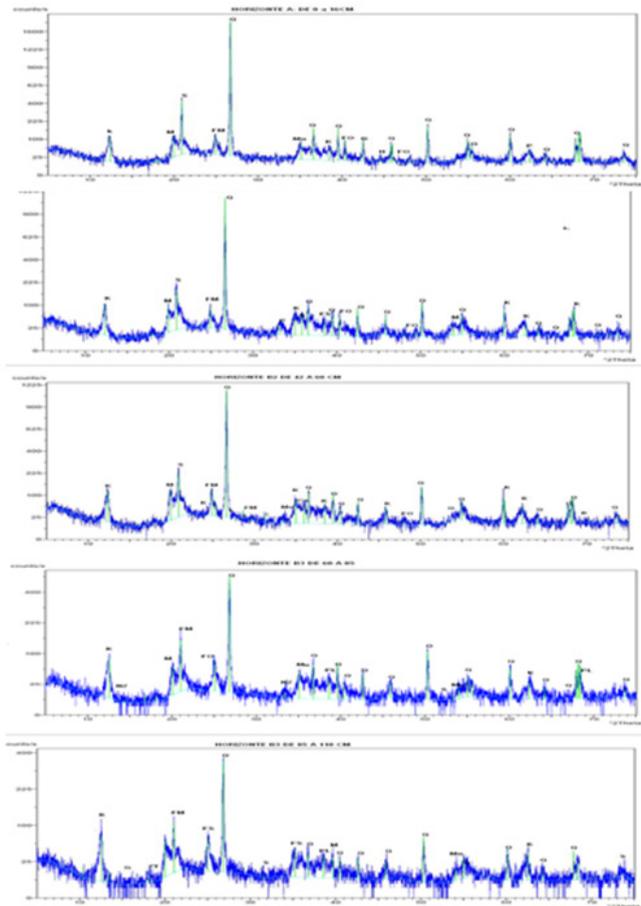


Figura 2. Difractogramas de arcillas, muestra total, perfil 2.

El análisis de los difractogramas tanto en muestra total (Figura 2) como el de la fracción arcillosa (Figura 3), indican la presencia de varios minerales traza que son difícil de identificar, debido a la baja resolución (reflexión o pico) que muestran los mismos en dichos difractogramas. Por lo tanto, la discusión de estos resultados se realizará en función de aquellos minerales que muestran un pico relativamente bien definido en las muestras analizadas en este estudio. En primer lugar, en el difractograma de la Figura 2 se observa un pico bien desarrollado

que indica la presencia del cuarzo bien cristalizado, el cual se presenta como el mineral primario más abundante en todos los horizontes del perfil analizado.

El cuarzo se identifica por un pico (3,34 Å) agudo y estrecho. Igualmente, se observa otro pico estrecho (4,26 Å) más bajo, que indica la presencia del cuarzo con un grado de menor cristalinidad. Otras reflexiones o picos más pequeños parecen relacionarse con el cuarzo, pero con bajo grado de cristalinidad (Figura 2). La abundancia del cuarzo, se explica primordialmente porque son resistatos o minerales resistentes a los procesos de meteorización que provienen de la alteración de las lutitas arenosas y areniscas que constituyen a la Formación Isnotú. Otros minerales primarios que se encuentran en menor proporción en los horizontes del suelo analizado, son el feldespato microclina cuya proporción varía entre pocas a moderadas cantidades y la mica muscovita que se presenta fundamentalmente en trazas. En la Figura 2, también se identifica el pico de la caolinita que está presente en cantidades moderadas en todos los horizontes del perfil del suelo, incrementándose relativamente con la profundidad; este mineral muestra un pico agudo, ligeramente ancho y simétrico, que indica que está moderadamente cristalizada.

Ahora bien, en la muestra de arcilla tratada con Etilen-glicol se observan mejor los picos de la caolinita (7,1Å), mineral que se presenta de forma abundante en todos los horizontes del suelo estudiado (Figura 3; Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de Rayos X semicuantitativo de la fracción arcillosa de los suelos analizados

| Perfil         | Horizontes | Profundidad<br>(cm) | Arcillas minerales |     |   |    |
|----------------|------------|---------------------|--------------------|-----|---|----|
|                |            |                     | K                  | H   | M | S  |
| Azuncelia<br>2 | A          | 0-16                | xxx                | xxx | x | xx |
|                | Bt1        | 16-42               | xxx                | xxx | x | xx |
|                | Bt2        | 42-60               | xxx                | xxx | x | x  |
|                | Cox        | 60-85               | xxx                | xx  | x | x  |
|                | Cu         | 85-110              | xxx                | xx  | x | x  |

K=Caolinita; Ms= muscovita ; M= Montmorillonita; S= Esmectita; Q= Cuarzo; FM= Feldespato microclina XXX: Mucho; XX: Moderadamente; X: Poco; Tr: trazas - : Nada

Estos picos están bien desarrollados son estrechos y simétricos, característica que indica que la caolinita está bien ordenada o cristalizada. Peters y Villalobos (1992), reportan la presencia de cuarzo como mineral dominante de la fracción ligera en los dos suelos que formaron parte de su investigación, al igual que la presencia de la caolinita como mineral dominante de la fracción arcillosa.

Tentativamente, en el difractograma de la Figura 3 se observa un pico bien simétrico que presumiblemente se asocia con la presencia de la halloysita, cuyo espaciado basal se presenta a los  $10,1 \text{ \AA}$ . Esta reflexión de la halloysita disminuye relativamente con la profundidad, indicando cantidades moderadas de este mineral en los horizontes subsuperficiales del suelo. No obstante, esto es solo una inferencia debido a que la identificación de la halloysita es ambigua porque su modelo de difracción es idéntico al de la caolinita desordenada (Joussein et al., 2005). La halloysita es un mineral que presenta una estructura y composición semejante a la de la caolinita, dickita y nacrita (Joussein et al., 2005; Cavrero et al., 2009), de allí que sea difícil su identificación. Necesariamente, para identificar este mineral con mayor precisión se requiere de otros análisis que están fuera de esta investigación como por ejemplo el análisis por Microscopía Electrónica, que permite diferenciar morfológicamente a la caolinita que se presenta en placas de la halloysita que presenta una morfología mayormente tubular y en menor grado cilíndrica o esférica (Joussein, et al., 2005). La esmectita ( $4,2$  y  $4,4 \text{ \AA}$ ), solo se observa en el difractograma de la Figura 3 en los dos primeros horizontes, presentándose en cantidades moderadas de acuerdo a la intensidad del pico, lo que sugiere que está ligeramente ordenada o cristalizada. En estudios previos realizados en suelos, sedimentos, paleosuelos y perfiles de meteorización originados sobre rocas sedimentarias de edad Mioceno similares a las de este estudio, se ha detectado la presencia de minerales como los reportados en este estudio (Hernando et al., 2002; Fesharaki et al., 2007; Flores et al., 2013; Doval et al., 2013).

Con respecto al origen de las arcillas minerales en la literatura se han señalado tres procesos o mecanismos fundamentales para su formación: herencia mineral, transformación y neoformación (Eberl, 1984; Wilson, 1999). En ese sentido, la presencia de los minerales primarios reportados en la fracción arcillosa de estos suelos como en el caso del cuarzo se considera que es de origen detrítico; por lo tanto, su origen se relaciona con las lutitas parentales que los contienen; una

composición similar para la fracción arcillosa fue reportada por Fesharaki et al. (2007), indicando que estos minerales son el resultado del área fuente o durante el transporte.

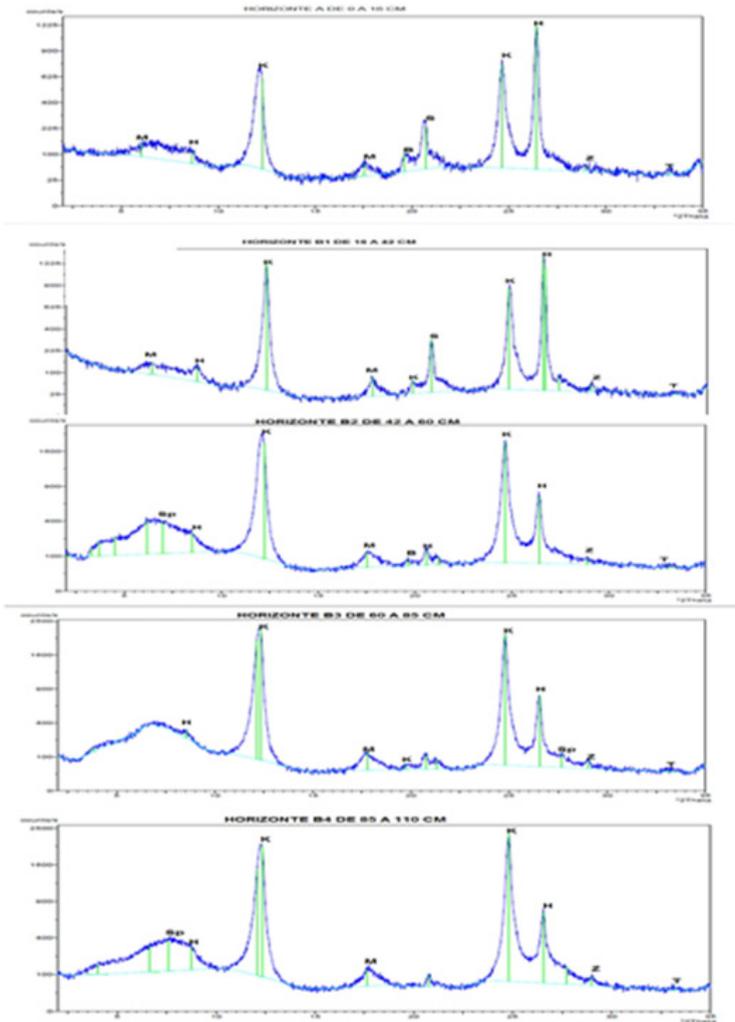


Figura 3. Difractogramas de arcilla con Etelin-Glicol, Perfil 2.

Este proceso de formación, se produce cuando una arcilla mineral es originada en un depósito natural a partir de reacciones que ocurren en otra área durante un estadio previo en el ciclo de las rocas; la arcilla resultante es bastante estable y permanece inerte en su ambiente actual (Eberl, 1984). Para el caso de la caolinita y la halloysita, ambas arcillas pueden ser heredadas del material parental del suelo o pueden haberse originado por procesos de transformación o neoformación; este último proceso aunado a las condiciones de alta acidez potencial, podrían haber favorecido la síntesis tanto de la caolinita como la halloysita en estos suelos.

La caolinita se forma “in situ” por exposición y laterización de feldespatos y micas, principalmente en ambientes húmedos oxidantes. Esto es atribuible, a que estos depósitos de los Andes tienen poco recorrido lo que permitió que se preservaran los feldespatos y las micas durante el transporte, y a esto se suma que la fuente de los Andes está constituida principalmente de rocas granitoides. Según Buckman y Brady (1977), la caolinita representa un estadio avanzado de meteorización que cualquiera de los otros tipos de arcilla silíceas y ellas se forman por la descomposición de silicatos bajo condiciones de meteorización, desde moderada a fuerte acidez, que resulta de la remoción de metales alcalinos y alcalinotérreos. Porta et al. (1999) señalan que las caolinitas son características de suelos muy meteorizados, en los que la neoformación de este mineral se ve favorecida frente a las otras arcillas, por el hecho de que solo se requiere silicio y aluminio como constituyentes esenciales y por ello predominan en suelos de zonas tropicales húmedas (ultisoles y oxisoles), si bien pueden presentarse en suelos ácidos bien drenados y en otros suelos, en función de las características del material originario y la historia del suelo.

Por otro lado, la halloysita es un mineral de arcilla de tipo 1:1 con una amplia distribución en suelos tropicales muy húmedos y regiones subtropicales, y es formada por la meteorización de varios tipos de rocas ígneas y no ígneas (Joussein et al., 2005; Carrillo et al., 2014).

Por su parte, Malagón (1979) señala que las condiciones que favorecen la formación de la halloysita se relacionan con concentraciones equivalentes de Al y Si, condiciones que son favorecidas por la alteración de feldespatos o productos amorfos y concentraciones bajas o nulas en bases y pH ácidos que aumentan la

posibilidad de sintetizar este mineral. La mayoría de las condiciones comentadas anteriormente para la síntesis de caolinita y halloysita, se presentan en los suelos analizados en este estudio. En el caso de las esmectitas, estas pueden haberse originado debido a las condiciones de mal drenaje que se observan en estos suelos y que se evidencian por la presencia de procesos redox en el medio, o por neoformación, a partir de la alteración de los feldespatos contenidos en el material parental de la Asociación Sierra Nevada principalmente o de algunas de las rocas (basalto-andesitas), de la Formación La Quinta.

Finalmente, las propiedades pedogenéticas analizadas en este estudio, permiten clasificar taxonómicamente a estos suelos como Ultisoles. En los Andes venezolanos se han descrito Ultisoles sobre diferentes condiciones de material parental, clima, geomorfología, altitud y vegetación. Ellos se caracterizan por presentar: reacciones ácidas, bajos porcentajes de saturación de bases, bajos valores de capacidad de intercambio catiónico, medianos a altos contenidos de materia orgánica (MO) y caolinita dominando en la fracción arcilla (Oballos y Ochoa, 2008). Estas condiciones químicas y mineralógicas, son similares a las reportadas en la presente investigación.

### *Conclusiones*

Los análisis físico-químicos y mineralógicos sugieren que estos suelos se encuentran en una etapa de moderado a alto desarrollo pedogenético. Las propiedades físicas analizadas, probablemente son inherentes al material parental del suelo, mientras que las propiedades químicas como pH ácidos, bajos porcentajes de cationes cambiables, bajo porcentaje de SB y CIC y bajo a alto contenido de CO, así como la presencia abundante de minerales como el cuarzo y en menor grado de feldespatos microclina y muscovita, y predominio la caolinita- halloysita en la fracción arcillosa, confirman lo señalado previamente en cuanto al estado de desarrollo pedogenético de estos suelos. Arcillas como la caolinita, halloysita y esmectitas, pueden ser el resultado de procesos de síntesis o neoformación, producto de la meteorización de minerales primarios como los feldespatos principalmente y micas que se relacionan con el material parental que dio origen a estos suelos. Las características pedogenéticas documentadas, permiten clasificar tentativamente a los suelos analizados como Ultisoles.

### *Fuentes*

- Alarcón, B., Meza, J. M., Oballos, J. y Ochoa, G. (1998) Suelos de la cuenca del Santo Domingo, sector Las Margaritas (caracterización físico-química). Barinas-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 42 (1): 63-69.
- Anderson, J. and Ingran, I. (1993) *Tropical soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods*. C.A.B. International. U.K. 219 p.
- Audemard, M. F. A. (2003) Geomorphic and geologic evidence of ongoing uplift and deformation in the Mérida Andes, Venezuela. *Quaternary International* 101-102: 43-65.
- Audemard, F. E., Audemard, F. A. (2002) Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics*, 345: 299-327.
- Barrios, A. y Lozano, A. (2004) Estudio de procedencia y grado pedogenético de los sedimentos en las formaciones Carbonera, Lagunillas e Isnotú, ubicadas en la Cuenca del Lago de Maracaibo. Trabajo Espacial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica: 184 p.
- Bezada, M. (1990) Geología glacial del Cuaternario de la región de Santo Domingo-Pueblo Llano-Las Mesitas (estados Mérida y Trujillo). Tesis Doctoral, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, 245 p.
- Birkeland, P. W. (1999) *Soil and Geomorphology*. Oxford University Press, 430p.
- Bouyoucos, G. J. (1962) Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Journal Agronomy*, (54): 464-465.
- Bukman, H. O. y Brady, C. N. (1977) *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Montaner y Simon, S. A. 590p.
- Briceño, I., Oballos, J. y Ochoa, G. (2001) Génesis de suelos sobre depósitos cuaternarios del río Santo Domingo, sector la Vega del Puente, Barinitas, Barinas-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 45 (19): 103-112.
- Carrillo, A. M., Urruchurto, C. M., Carriazo, J. G., Moreno, S., Molina R. A. (2014) Caracterización estructural y textural de una haloisita colombiana. *Revista mexicana de Ingeniería Química*, Vol. 13, Nº 2: 563-571.
- Castro, G., Sánchez, J. & Guerrero, O. (2005) caracterización sedimentológica de la localidad tipo de la Formación Isnotú, estado Trujillo. I Simposio de Estratotipos de Venezuela. *Geos* 38, pag. 56.

- Cavero, F., Martínez, G. A., y Pestalardo, F. (2009) Yacimientos de halloysita en Mail Choique, Provincia de Río Negro, Patagonia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 65 (3): 586-592.
- Chapman, H. D. (1965) Cation exchange capacity. In: C. A. Black (Ed) *Methods of soil analysis: Chemical and Microbiological Properties, Part 2*. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. Agronomy Series N° 9: 891-900.
- Donner, H. E. and Lynn, W. C. (1989) Carbonate, halide, sulfate, and sulfide Minerals. In: J. B. Dixon S. B. Weed (eds.) *Mineral in soil environments*. SSSA Books ser. 1 Madison, Wisconsin, USA: p. 279-330.
- Doval, M., Martín-García, R., La Iglesia, A. and Alonso-Zarza, A. M. (2013) Clays minerals associations in paleoweathering profiles from Central Spain: genesis and implications. *Clay Minerals*, 47: 117-129.
- Eberl, D. D. (1984) Clay mineral formation and transformation in rocks and soils. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 311: 241-257.
- Fesharaki, O., García-Romero, E., Cuevas-González, J. and Lopez-Martinez, N. (2007) Clay mineral genesis and chemical evolution in the Miocene sediments of Somosaguas, Madrid Basin: genesis and implications. *Clay Minerals*, 47: 173-187.
- Figueroa Jáuregui, M. L., M. R. Martínez Menez, C. A. Ortiz Solorio y D. Fernández Reynoso. 2018. Influencia de los factores formadores en las propiedades de los suelos en la Mixteca, Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana* 36: 287-299. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.259>
- Flores, M. T., Parra, S. L. N., Jaramillo, J. D. F. y Jaramillo M. J. M. (2013) Paleosuelos del Mioceno en el desierto de La Tatacoa. *Revista Academia Colombiana de Ciencias*, 37 (143): 229-244.
- González, O. (1995) Comparación de la geología glacial del Cuaternario de las quebradas Mucuchache, Saisay y Muchurua (Andes centrales venezolanos), estado Mérida. Trabajo de Grado de Maestría, Universidad Pedagógica Experimental Libertador-Instituto Pedagógico de Caracas, 242 p.
- González, O. y Bezada, M. (2001) Pedología y cronología relativa de los depósitos cuaternarios en tres cuencas de los Andes centrales venezolanos (estado Mérida). *Acta Científica Venezolana*, 52: 210-219.: 141-147.
- González, O., Millán, Z. y Bezada, M. (2008) Pedogénesis de una cronosecuencia

- de suelos en la región de Yaritagua-Guama, estado Yaracuy-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, Vol. 49 (2): 223-245.
- González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J.M. y Picard, X. (1980) *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Tomos 1 y 2. Eds. Foninves, Caracas, 1031 p.
- Hernando, I., Hernando, J., De La Cruz, M. T., Casermeiro, M. A., Molina, J. A. (2002) *Minerales de arcilla en suelos sobre sedimentos Miocenos del SE de Madrid (Arroyo de la Vega)*. *Edafología*, vol. 9 (2): 173-180.
- Jenny, H. (1941) *Factors of soil formation. A system of quantitative Pedology*. McGraw-Hill-Book Co., New York: 281 p.
- Koppen, W. (1948). *Climatología*. Hendrichs, PR. (trad.) Fondo de Cultura Económica. Buenos Aires: 478 p.
- Léxico Estratigráfico de Venezuela (1997) República de Venezuela, Ministerio de Energía y Minas. Dirección General Sectorial de Servigeomin, Dirección de Geología. *Publicación Especial N° 12*, Tomos I y II: 828 p.
- Malagón, D. (1979) *Fundamentos de mineralogía de suelos (sus orígenes y aplicaciones)* Tomos I y II. Serie Suelos Sc-36 Mérida-venezuela: 747p.
- Malagón, D. (1982) *Evolución de los suelos en el páramo andino (NE del estado Mérida, Venezuela)*, CIDIAT, N° Sc-56: 226p.
- Manrique, J. Ochoa, G. y Oballos, J. (1997) *Suelos de la cuenca del Santo Domingo, sector Los Frailes. (Caracterización físico-química)*. Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 41 (1): 61-68.
- Morales, A. E. y Viloría, R. J. A. (2005) *Interrelación entre unidades geológicas y propiedades del suelo en la cuenca alta del río Guárico, Venezuela*. *Venesuelos*, 13: 11-21.
- Munsell Soil Color Charts (1990) Edition Revise. Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation 2441 North Calvert Street Baltimore, Maryland 21218.
- Oballos, J. (1997) *Micromorfología de suelos en la cuenca del río Capaz, región Las Cruces-Santa Elena de Arenales*. Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 41 (1): 53-59.
- Oballos J. y Ochoa, G. (2008) *Caracterización de ultisoles en la cuenca del río Capaz, Mérida- Venezuela*. *Agronomía Tropical* 58 (4): 369-382.
- Ochoa, G., Oballos, J., Jaimes, E. y Manrique J. (2004) *Relación entre el material*

- parental y el pH de los suelos en los Andes venezolanos. *Revista geográfica Venezolana*, vol. 45 (2): 281-288.
- Ochoa, G. R., Malagón D. y Oballos, J. (2008) Influencia del material parental y del bioclima en la pedogénesis de la cuenca media y alta del río Motatán, Mérida-Trujillo, Venezuela. *Agronomía Tropical* 58 (2): 125-140.
- Ochoa, G., Oballos, J. Velásquez, J. C., López, I. & Manrique, J. (2009) Characteristic of Dystrustepts in the Venezuelan Andes. *R. Bras. Ci. Solo*, 33: 1777-1784.
- Ochoa, G., Malagón, D., Palacios, E. y Oballos, J. (2010) Caracterización morfológica, química y mineralógica de suelos de la región andina venezolana. *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 51 (1): 31-44.
- Peters, W. y Villalobos, I. (1992) Características físicas, químicas y mineralógicas de algunos suelos del sector Machiquez Colón. *Revista facultad de Agronomía (LUZ)*: 229-240.
- Pineda M. C., Elizalde, G. y Viloría, J. (2011) Relación suelo-paisaje en un sector de la cuenca del río Caramacate, Aragua, Venezuela. *Revista Facultad de Agronomía (UCV)* 37 (1): 27-37.
- Porta, J. López M. y Roquero, C. (1999) Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. Barcelona, España, 850 p.
- Rodríguez, F. H. y Rodríguez, A. (2002) Métodos de análisis y plantas. México D.F. Editorial Trillas, 103, 122, 124 p.
- Sánchez, J., Oballos, J. y Ochoa, G. (1998) Suelos de la cuenca del Santo Domingo, sector El Baho (caracterización físico-química) Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 42 (1): 71-77.
- Schargel, R. (2011) Una reseña de la geografía física de Venezuela, con énfasis en los suelos. *Biollania Edición Especial*, 10:11-26.
- Schwertmann, V. and Taylor, R. M. (1989) Iron oxides. In: J. B. Dixon S. B. Weed (ed.) *Mineral in soil environments*. SSSA Books ser. 1 Madison, Wisconsin, USA: p. 379-425.
- Sutton, A. (1946) Geology of Maracaibo Basin, Venezuela. *Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull.*, 30(10): 1621-1741.
- Velásquez, J. C., Ochoa, G. y Oballos, J. (1997) Suelos de la cuenca del Santo Domingo, sector La Soledad. (Caracterización físico-química). Barinas-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 41 (1): 69-75.

- Wilson, M. J. (1999) The origin and formation of clay minerals in soil: past, present and future perspectives. *Clay minerals*, 34: 7-25.
- Zeledón, L. A. (2004) Zeolitas del valle central de Costa Rica y sus alrededores. *Revista Geológica de América Central*, 31: 67-80.