

Estudio exploratorio de las propiedades físicas de suelos y su relación con los deslizamientos superficiales: Cuenca del río Maracay, estado Aragua-Venezuela

Exploratory study of physical properties of soils in the Maracay River basin (Aragua State, Venezuela) and their relationship with debris flows

Ríos Cabrera María M.¹, Ruiz Dáger Magaly², Maduro Rojas Rubén³ y García Hugo³

Recibido: marzo 2009 / Aceptado: abril, 2010

Resumen

Se realizó un estudio exploratorio de propiedades físicas y de materia orgánica de suelos ubicados en la cuenca del río Maracay (estado Aragua, Venezuela) para relacionarlas con la susceptibilidad para favorecer deslizamientos superficiales. Se caracterizaron, mediante un análisis descriptivo univariante, algunas propiedades físicas y se compararon tomando como referencia su estructura y su asociación con la cohesión y la adhesividad. Los suelos ubicados en el tramo alto son homogéneos en cuanto al contenido de arena, generalmente superior al 60% y presentan alta variabilidad, en lo que respecta a los contenidos de limo y arcilla. La cantidad media de arena y arcilla guardan una relación de 10:1. Los límites de Atterberg sugieren que estos suelos son poco plásticos, susceptibles de pasar del estado plástico al líquido al agregar porciones reducidas de agua, lo cual magnifica el riesgo de ocurrencia de deslizamiento de los materiales, condición agravada por la intervención antropogénica.

Palabras clave: Deslizamientos en masa; propiedades físicas; toposecuencia; fenómenos socionaturales.

Abstract

An exploratory study of the physical properties and organic matter of soils located in the Maracay River basin (Aragua State, Venezuela) was carried out to relate them to the susceptibility to produce the debris flows. Some physical properties were characterized by means of a univariant descriptive analysis and were compared taking as a reference their structure and its association with the cohesion and the adhesiveness. It was found that the soils located in the highest zone are homogenous in sand content, generally higher than

-
- 1 Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), Departamento de Biología, Núcleo de Investigación Ambiental con Fines Educativos (NIAFE), Maracay-Venezuela. Correo electrónico: mariamagda@cantv.net
 - 2 Universidad Rómulo Gallegos, Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA), San Juan de Los Morros-Venezuela. Correo electrónico: magaruiz@movistar.net.ve
 - 3 Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), Departamento de Física, Línea de investigación: Didáctica de las Ciencias Naturales e Investigación Educativa, Maracay-Venezuela. Correo electrónico: maduroruben@yahoo.com

60% and shows variability with regard to the contents of silt and clay. The relationship between sand and clay is 10:1. According to the obtained limits of Atterberg, these soils are characterized by their low plasticity, susceptible to pass from the plastic to the liquid state when adding reduced portions of water, which magnifies the risk of occurrence of sliding of the materials, condition that can worsen with the anthropic intervention.

Key words: Debris flows; physical soils properties; toposequence; socionatural phenomena.

1. Introducción

Las condiciones climáticas, topográficas, geomorfológicas, geológicas y edáficas de la cuenca del río Maracay, estado Aragua-Venezuela, hacen que sea una zona donde se pueden presentar diferentes amenazas naturales. Una de esas amenazas la constituyen los deslizamientos en masa, los cuales se ven favorecidos por la intervención antrópica acelerada que ha sufrido toda esta área, generando un cambio en la vocación de uso de la tierra.

El suelo y los mantos de alteración presentes en las laderas generan, frecuentemente, deslizamientos superficiales como parte de los procesos geodinámicos característicos de las zonas altas. Estos flujos superficiales son esencialmente deslizamientos de traslación de suelos residuales y/o coluviales, generalmente con espesores menores de 2 m, que desarrollan escarpas muy largas desde los topes de fila hasta el pie de laderas naturales, y arrastran consigo la capa vegetal y hasta grandes árboles, con raíces desarrolladas dentro de dichos suelos, lo que comúnmente se conoce como deslaves (Salcedo, 2000). Ellos anteceden a los flujos torrenciales que ocurren cuando interaccionan un conjunto de variables como el relieve con pendientes pronunciadas y extensas, presencia de materia-

les geológicos susceptibles de ser movilizadas y condiciones meteorológicas con lluvias intensas (Elizalde *et al.*, 1987).

El estudio de las características físicas y químicas de los suelos a lo largo de una toposecuencia, ayuda a comprender su comportamiento bajo condiciones determinadas. En cuanto a las propiedades físicas ellas tienen una marcada influencia en la estabilidad del suelo. Generalmente se relacionan con la estructura del suelo, que comprende el ordenamiento de las partículas individuales en agregados y el espacio poroso que llevan asociados, todo ello como consecuencia de las interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica. La formación y estabilización de los agregados determinan en gran medida, la conservación o pérdida de los suelos por los agentes erosivos y la existencia de un espacio poroso total que permita el adecuado movimiento de los fluidos (agua y aire) para el normal desarrollo de la biota.

La formación y estabilidad de los agregados depende de una serie de factores de tipo biológico, físico y químico. Entre ellos, de acuerdo a Porta *et al.* (1999), se pueden destacar algunos como:

- *La cobertura vegetal:* por su efecto sobre el recubrimiento de los suelos,

el aporte de materia orgánica, su relación con los ciclos biogeoquímicos y la retención del suelo por las raíces.

- *Los microorganismos*: por su efecto en la unión de las partículas por mecanismos de adsorción al segregar productos mucilaginosos que envuelven las partículas e intervienen en la evolución de la materia orgánica.
- *Mineralogía de arcillas*: por su efecto sobre la plasticidad del terreno y la susceptibilidad de que se produzcan deslizamientos.
- *Condiciones meteorológicas a lo largo del año*: por su efecto sobre las características estructurales de los suelos, especialmente las condiciones de las precipitaciones que pueden afectar la estabilidad de los agregados y favorecer la formación de sello y costra superficial. La estabilidad de los agregados hace referencia a la capacidad de éstos para mantener su forma al estar sometidos a fuerzas inducidas artificialmente, en concreto las derivadas de la humectación, impacto de las gotas de lluvia, el paso de agua o a un determinado proceso dispersivo (Porta *et al.*, 1999).

La resistencia mecánica de un suelo a la deformación y a fluir bajo la acción de fuerzas mecánicas depende de su contenido de humedad; en este sentido, la consistencia expresa el estado físico de un suelo a un contenido dado de humedad. Se debe a las fuerzas de cohesión y es consecuencia de la estructuración. Incluye propiedades como dureza, friabilidad, plasticidad y adherencia (Porta *et*

al., 1999). Esta resistencia mecánica del suelo, su plasticidad y su tendencia a adherirse a otros objetos, son aspectos de la consistencia del mismo que dependen de su textura, del contenido de materia orgánica, de la mineralogía del suelo y del contenido de humedad. De allí la importancia de incluir los aspectos relacionados con el contenido de materia orgánica en el estudio de las propiedades físicas del suelo.

Zinck (1986a) estudió la fragilidad de los suelos en la selva nublada del parque nacional de 'Rancho Grande' y expresa que las características de consistencia, permiten predecir el posible comportamiento de un material edáfico en función de diferentes contenidos de humedad. Es así que, si a un suelo se le agrega agua, éste pasa del estado sólido al estado plástico lo que se conoce como *límite plástico*. Si la entrada de agua al suelo continúa, pasa del estado plástico al fluido y se llama *límite líquido*. La diferencia entre ambos límites se denomina *índice de plasticidad*. Este índice señala la amplitud del rango en el cual el suelo se comporta como un material plástico, susceptible de experimentar deformaciones significativas. Mientras menores sean los valores del índice plástico, los materiales podrán pasar más rápidamente del estado sólido al líquido con sólo una pequeña adición de agua (Zinck, 1986c). Igualmente, es importante conocer la susceptibilidad de cada sector montañoso y desarrollar sistemas de prevención y alerta, que permitan reconocer cuando la conjunción de factores naturales alcanza límites críticos como para poner en peligro

la vida humana y bienes materiales, tanto en las regiones elevadas como en las bajas adyacentes (Elizalde *et al.*, 1987).

En Venezuela han ocurrido eventos adversos relacionados con los deslizamientos en masa del suelo en diferentes cuencas hidrográficas, con condiciones geológicas, edáficas, climáticas y topográficas semejantes a las que presenta la cuenca del río Maracay, los cuales han sido estudiados por diferentes autores, entre ellos Elizalde *et al.* (1987), quienes analizaron, por ejemplo, las causas y consecuencias de la tragedia ocurrida por la crecida del río El Limón en septiembre de 1987, en Maracay, estado Aragua. De la misma manera, Salcedo (2000) analizó los factores que intervinieron en la llamada Tragedia de Vargas en 1999 (estado Vargas, litoral central), enfatizando en la importancia de aprender de estos fenómenos socionaturales.

Tomando como referencia lo expuesto anteriormente, se hizo evidente la necesidad de conocer la realidad presente con respecto a los riesgos de deslizamientos de masa que pueden ocurrir en la cuenca del río Maracay antes de que pueda desencadenarse una serie de eventos tormentosos. Esto con la finalidad de alertar a la ciudadanía asentada en las áreas drenadas por el río Maracay y sus afluentes sobre los riesgos que pueden afectarla. Ello contribuiría al conocimiento de la problemática y a la incorporación activa de los integrantes de la comunidad para garantizar el éxito de la actividad preventiva.

El presente trabajo tuvo como propósito realizar un estudio exploratorio de

las propiedades físicas, conjuntamente con la materia orgánica, de algunos suelos ubicados en una toposecuencia en la cuenca del río Maracay que permitiera relacionar estas propiedades con la susceptibilidad de los suelos para desencadenar movimientos de masa. Para ello se caracterizó, mediante un análisis descriptivo univariante, las principales propiedades físicas y el contenido de materia orgánica presentes en esos suelos. Se compararon las características físicas tomando como referencia su estructura y su asociación con la cohesión y la adhesividad.

2. Área de estudio

2.1 Localización de los suelos

Los suelos seleccionados para este estudio están localizados en la cuenca del río Maracay, delimitada por la fila de Güey al noroeste, la fila de Choroní al norte, la fila Cola de Caballo al sureste y el lago de Valencia al sur. Geográficamente se ubica en el tramo central del ramal del Litoral de la cordillera de la Costa, al noreste de la ciudad de Maracay, estado Aragua; su posición astronómica es aproximadamente: al norte $10^{\circ} 22'$ y al sur $10^{\circ} 12'$ de latitud norte; este $67^{\circ} 31'$ y oeste $67^{\circ} 37'$ de longitud oeste. El área de estudio presenta variaciones importantes de relieve, desde las montañas de más de 2.000 metros de altura sobre el nivel del mar (msnm), hasta la llanura aluvial y lacustrina, ligeramente por encima de los 400 msnm; se corresponde con los tramos alto y medio de la cuenca del río Maracay,

desde la divisoria de aguas en la vía hacia Choroni como punto más al norte, dentro del Parque Nacional 'Henri Pittier', hasta la Avenida Casanova Godoy como límite sur del estudio.

En la cuenca existe una gran variedad de formaciones vegetales y zonas de vida (Fernández-Badillo y Ulloa, 1990). Se aprecian varios biomas fácilmente diferenciables: La selva nublada, el bosque de galería, sabana de montaña, sabana arbolada, entre otros.

2.2 Descripción de los sitios de muestreo

Se seleccionó una toposecuencia de suelos en el sentido norte sur. Se escogieron 12 puntos de muestreo (Cuadro 1; Figura 1). Los suelos ubicados en la parte más elevada de la toposecuencia en la carretera Maracay-Choroni se corresponden con los puntos 1, 2, 3 y 4 (Cuadro 1, Figura 1). El primero de estos puntos se ubica dentro de la selva nublada de transición, mientras que el resto se encuentra en la sabana de montaña. Los puntos 5 y 6 se localizaron en las inmediaciones de la empresa embotelladora de agua mineral 'El Castaño', en un bioma de sabana arbolada. Los puntos identificados con los números 7, 8 y 9 se encuentran cerca del área recreacional 'Las Cocuizas', a diferentes alturas dentro del parque recreacional, estando los dos últimos ubicados dentro del bosque de galería, en las cercanías del cauce del río Maracay, mientras que el primero se encuentra en la sabana de montaña. Los puntos 10, 11 y 12 están

ubicados a lo largo de la Avenida Las Delicias de Maracay. El primero se corresponde con la Urbanización El Toro; el segundo, con los terrenos adyacentes a la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL-Maracay) y, el tercero, con las inmediaciones de la Av. Casanova Godoy, cruce con la Av. Las Delicias, estando todos ellos, en zonas urbanizadas.

3. Materiales y métodos

Para cada punto de los 12 seleccionados en la toposecuencia, se delimitó un área de 4 x 4 m, en la que se tomaron 5 submuestras, las cuales se mezclaron para conformar una muestra compuesta. La profundidad de muestreo fue de 0 a 20 cm. Cada muestra fue secada al aire y luego se trituró para eliminar los terrones presentes. Seguidamente se pasó por un tamiz de 2 mm para separar el esqueleto grueso. La fracción menor de 2 mm fue sometida a los siguientes análisis: textura, estructura, densidad real y aparente, espacio poroso total y materia orgánica.

3.1 Análisis físicos y químicos de los suelos

La textura fue estimada por el método de Bouyoucos (López y López, 1978). La densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$) por el método del hoyo (Pla, 1983) y, la densidad real se hizo siguiendo el método volumétrico (Pla, 1983). El contenido de materia orgánica se determinó según el método propuesto por Anderson e Ingram (1993).

Cuadro 1. Ubicación y características de los sitios de muestreo de suelos, cuenca del río Maracay

Nº	Ubicación	Descripción	Observaciones
1	Kilómetro 18 vía Choroni	Corte de la carretera en ladera sur de la montaña en una zona cubierta de vegetación característica de selva nublada de transición	Esta es una zona de ganancia debido a que corresponde con la parte más deprimida de la vertiente en donde se concentra la humedad disponible
2	Kilómetro 18 vía Choroni	Ladera sur de la montaña en una zona bajo vegetación de sabana	Suelo muy erosionado, de poco espesor y sometido a quema anual. Presencia de algunos arbustos (chaparro)
3	Kilómetro 18 vía Choroni	Ladera sur de la montaña en una zona bajo vegetación de sabana	Presencia de esqueleto grueso en el suelo, con materiales heterométricos contenidos en una matriz arenosa
4	Kilómetro 18 vía Choroni	Ladera sur de la montaña, bajo vegetación de sabana	Vegetación de sabana con escasos arbustos. Sometido a quema. Suelo erosionado
5	Embotelladora Agua Mineral 'El Castaño'	Ladera sur de la montaña, en la parte más baja de la vertiente. La vegetación predominante en sitio es de bosque; abundantes árboles	Zona de acumulación dentro de la vertiente. La vegetación se mantenía verde en la época de sequía
6	Embotelladora Agua Mineral 'El Castaño'	Ladera sur de la montaña, detrás de la embotelladora, bajo vegetación de sabana	Zona de pérdida de materiales. Evidencia de erosión del suelo, con escaso espesor
7	Área Recreacional 'Las Cocuizas'	Bioma de sabana en la margen derecha del río Maracay, dentro del área recreacional	Vegetación típica de sabana. Zona de pérdida de materiales
8	Área recreacional 'Las Cocuizas'	Bosque de galería. Sector 'La Toma', naciente de la quebrada	Material rojizo con restos de esquistos. Presencia de abundante mica. Material depositado en forma torrentosa, poco trabajado. Escasas evidencias de erosión del suelo. Vegetación típica de bosque
9	Área recreacional 'Las Cocuizas'	Bosque de galería. Sector 'La Toma'. Zona baja en la confluencia de la quebrada con el río Maracay	Material mezclado. Abundante mica. Presencia de esqueleto grueso. Vegetación de bosque. Suelos oscuros
10	Av. Las Delicias. Sector El Toro	Zona muy intervenida. Vegetación de sabana. Se tomó en la parte baja del cerro Las Delicias, sobre el cono de deyección Castaño-Las Delicias	Zona urbanizada
11	Av. Las Delicias. Sector UPEL	Poca pendiente. Vegetación de sabana. Terrenos adyacentes a la UPEL Maracay. Hacia el este, en la margen derecha del río Maracay, cerca de la fila Cola de Caballo	Zona muy intervenida
12	Av. Las Delicias. Sector 'Los Olivos'	Terreno con poca pendiente. Vegetación de sabana, en la margen derecha del río Maracay, cerca de la fila Cola de Caballo	Terrenos cercanos a la Av. Casanova Godoy



Figura 1. Localización de los sitios de muestreo de suelos en la cuenca del río Maracay. (Imagen satelital de Maracay, Landsat ETM, con una resolución de 60 metros, tomada el día 14 de marzo de 2001, facilitada por FUNDACITE-Aragua)

3.2 Determinación de la consistencia

La consistencia (adhesividad, cohesión, plasticidad) se estimó siguiendo la metodología descrita por Zérega (1995). Para su determinación se realizó un muestreo adicional que incluyó, además de la profundidad de 0 a 20 cm, otra de 20 a 50 cm. Se consideraron 4 puntos ubicados estratégicamente dentro de la toposecuencia que eran representativos de las cuatro áreas principales consideradas para este estudio.

3.3 Límites de Atterberg

Para la determinación cuantitativa de los índices de plasticidad para los suelos considerados, se siguieron los procedimientos ordinarios previamente establecidos en los Laboratorios de Física de Suelos (Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela). Para el límite líquido se utilizó un equipo metálico tipo ASTM D-423. Soiltest CL-207 y, para el límite plástico, el ASTM D-424. El índice de plasticidad se determinó por diferencia entre el límite plástico y el límite líquido. Para la determinación del índice de plasticidad se aplicó la técnica básica para cálculos de límites de plasticidad (superior e inferior) propuesta por Atterberg que, según Pla (1983), se establecen de la siguiente manera:

3.3.1 Límite inferior de plasticidad

Se humedecieron de 15 a 20 g de suelo triturado y pasado por tamiz de 2 mm, amasando hasta formar una bola. Se

hace rodar la bola sobre una lámina de vidrio, hasta formar un rollo de suelo de alrededor 3 mm de diámetro. Se vuelve a formar una bola y se repite el proceso hasta que el suelo comience a resquebrajarse o cuando el rollo alcance el diámetro aproximado de 3 mm, se pesa el rollo de suelo, se seca en estufa a 110 °C y se vuelve a pesar calculando el porcentaje de humedad.

3.3.2 Límite superior de plasticidad

Se humedecieron alrededor de 150 g de suelo triturado y pasado por el tamiz de 2 mm hasta obtener una masa fácilmente moldeable. Se coloca una porción de ella en el fondo de la copa del aparejo mecánico, hasta alcanzar un espesor máximo sobre el fondo de alrededor de 1 cm. Se alisa la superficie y se hace un corte en sentido longitudinal dejando descubiertos alrededor de 2 mm del fondo de la copa. Se le da vuelta a la manivela del aparejo a una velocidad aproximada de 2 revoluciones por segundo, hasta lograr que se cubra con suelo alrededor de 1 cm del fondo del surco. Si esto se logra después de un número de revoluciones comprendidas entre 12 y 38, se recoge el suelo, se pasa a una lata, se pesa y se seca a 110 °C en estufa. El proceso se repite hasta tener al menos uno o dos valores por encima y por debajo de 25 revoluciones, ello se logra agregando más suelo (si se quiere valores más altos) o más agua (para valores más bajos) a la masa que se prepara antes de colocarla en la copa. En cada caso, después de secar, se calcula el porcentaje de humedad que correspondería a 25 golpes, el cual representa el límite superior de plasticidad.

dad, llamado también límite líquido. Para obtener los valores de este límite superior de plasticidad, se parte del porcentaje de humedad en escala lineal y del número de revoluciones en escala logarítmica, para elaborar un gráfico donde por interpolación se obtiene el porcentaje de humedad correspondiente a cada caso.

3.4 Análisis estadístico

Desde el punto de vista metodológico, el presente trabajo se asumió como un estudio exploratorio, ya que el mismo se desarrolló con el propósito de tener un diagnóstico inicial de la situación que presenta el conjunto de variables a estudiar (Hernández y González, 2006). En el contexto de la metodología utilizada para el tratamiento de los datos, los estudios exploratorios son análisis descriptivos, aunque el énfasis de la exploración está en la inspección de los datos con el objetivo de detectar casos anómalos, cuyos valores se alejan de la tendencia central lo suficiente como para distorsionar los resultados, deben también proporcionar datos que evidencien la existencia de valores atípicos o extremos en una variable, suministrar información sobre la adecuación de las técnicas estadísticas que se pretenden emplear posteriormente y la posibilidad de requerirse la transformación de los datos como paso previo a futuros análisis.

En el presente trabajo se exploran las medidas descriptivas de tendencia central, dispersión y posición de las variables en estudio, se analizan los casos anómalos y formas de distribución me-

dante los diagramas de caja y se describen las medidas de correlación entre las variables que por su relevancia e interés investigativo así lo requerían; todo ello en el marco de la revisión de literatura y los objetivos planteados. También se desarrolló un proceso de clasificación y comparación descriptiva de las variables que definen las características físicas de los suelos, para lo cual se construyeron tablas de contingencias bivariadas y tablas resúmenes de las características de forma, valor y valores extremos, en el contexto de la información aportada por los diagramas de caja.

Para la construcción de las tablas de contingencia, tablas resúmenes y diagramas de caja se utilizó el programa STATISTIX for Windows versión 8.0, 2003.

4. Resultados y discusión

4.1 Análisis descriptivo

Como se expuso en la metodología, un primer aspecto a considerar en el procesamiento de los datos obtenidos, fue su análisis preliminar, lo cual es considerado por Hernández y González (2006) como elemento esencial de cualquier análisis exploratorio, ya que permite al investigador obtener una primera comprensión de los rasgos generales de las variables en estudio.

En el caso que nos ocupa, y como parte de la investigación, se hizo un estudio descriptivo de las principales características físicas de los suelos. Los resultados se resumen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características físicas de los suelos presentes en la cuenca del río Maracay

Ubicación	Nº	Características físicas									
		Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textura	Estructura	Da* (Mg m ⁻³)	EPT	Adhesividad	Cohesión	Plasticidad
Kilómetro 18. Vía Choroní	1	7,2	22,8	70,0	Fa	Granular	1,57	40,3	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	2	5,2	18,8	76,0	aF	Granular	1,6	39,2	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	3	11,2	18,8	70,0	Fa	Granular	1,58	39,9	Débilmente adhesivo	No Coherente	No Plástico
	4	3,2	24,8	72,0	Fa	Granular	1,57	40,3	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
Agua El Castaño	5	5,2	34,8	60,0	Fa	Granular	1,62	38,4	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	6	6,4	30,6	63,0	Fa	Granular	1,61	38,8	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
Las Cocuizas	7	3,2	24,8	72,0	Fa	Granular	1,57	40,3	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	8	5,2	20,8	74,0	Fa	Migajosa	1,53	41,8	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	9	6	14,4	79,6	aF	Migajosa	1,55	41,0	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
UPEL Av. Las Delicias	10	5,2	22,8	72,0	Fa	Migajosa	1,54	41,4	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	11	9,2	34,8	56,0	Fa	Granular	1,57	40,3	No adhesivo	Poco Coherente	No Plástico
	12	13,2	36,8	50	F	Migajosa	1,52	42,2	Débilmente adhesivo	Poco Coherente	Débilmente Plástico

*Densidad aparente (g/cm³). Método del hoyo. Las determinaciones de densidad real se hicieron siguiendo el método volumétrico, resultando un valor promedio de 2, 63 Mg m⁻³

El análisis de la estructura revela que el 66,7 % de los suelos estudiados presentan una estructura granular y el 33,3 % restante la tiene migajosa. En cuanto a la textura, se encontró que el 75,0 % de los suelos clasifican como franco-arenosos (Fa), el 16,7 % como areno-francosos (aF), mientras el 8,3 % son francos (F).

Al desarrollar el estudio conjunto de la textura y estructura de los suelos tal y como se muestra en el cuadro 3, se pudo visualizar que en el caso de los suelos con estructura granular, 12,5% se corresponden con suelos de textura areno-francosa, mientras que el 87,5 % de los suelos con estructura granular, tienen textura franco-arenosa, no encontrándose nin-

gún suelo con textura franca y estructura granular. En el caso de los suelos con estructura migajosa, el 25 % presenta una textura areno-francosa; igual porcentaje corresponde a suelos de textura franca, mientras que el 50 % restante clasifica como franco-arenoso.

Cuadro 3. Estudio conjunto de la textura y estructura de los suelos

Textura	Estructura		
	Granular	Migajosa	Total Fila
Areno Francosa (aF)	01	01	02
Franca (F)	00	01	01
Franco Arenosa (Fa)	07	02	09
Total Columna	08	04	12

En el contexto del análisis descriptivo de las variables en estudio se desarrollaron las medidas de tendencia central (media, mediana) y las medidas de dispersión (desviación estándar y coeficiente de variación). Los resultados obtenidos para cada variable y cada medida se presentan en el cuadro 4.

Con respecto al porcentaje de arena en los suelos estudiados se observó que su contenido medio fue de 68 %, lo cual, aunado a un coeficiente de variación menor del 15%, refiere suelos altamente arenosos y homogéneos en cuanto a esa característica. Estos resultados coinciden con los encontrados por Sánchez *et al.* (2005), al estudiar suelos ubicados a distintas altitudes dentro de la cuenca del río Maracay bajo distintos biomas, cuyos contenidos de arena estaban comprendidos entre 63 y 87%. De igual manera, Romero *et al.* (2004) señalan la existencia de suelos arenosos localizados en la cuenca alta y media del río Maracay. En

suelos pertenecientes a la cuenca del río El Limón, adyacente a la del río Maracay, se han conseguido contenidos de arena similares a los descritos para los suelos de este estudio (Elizalde *et al.*, 1987; Hidalgo, 1987) y se ha señalado que los altos contenidos de arena constituyen una de las características de los suelos que propician su fluidificación cuando se saturan de humedad.

En el caso del porcentaje de arcilla y tomando como referencia para el estudio de su nivel de variabilidad el coeficiente de variación, se puede visualizar un valor alto del mismo (45,7%), en contraste, el contenido de arena presenta un nivel de variabilidad menor que se refleja en un valor de 12,9%; en cuanto al porcentaje de limo, la variabilidad también resultó ser alta (28,5%), aunque no en los niveles de la variable contenido de arcilla.

Una visión integrada del coeficiente de variación para los porcentajes de limo, arcilla y arena, pareciera indicar la pre-

Cuadro 4. Medidas de tendencia central y de dispersión de las variables en estudio

Medida	Variable					
	Arcilla	Arena	Limo	MO	DA	EPT
N	12	12	12	12	12	12
Media	6,700	67,88	25,42	2,15	1,57	40,33
SD	3,06	8,78	7,24	1,37	0,03	1,16
CV (%)	45.69	12.93	28.50	63.65	1.97	2,87
Valor mínimo	3,20	50,00	14,40	0,53	1,52	38,40
Primer cuartil	5,20	60,75	19,30	1,07	1,54	39,38
Mediana	5,60	71,00	23,80	1,87	1,57	40,30
Tercer cuartil	8,70	73,50	33,75	3,03	1,60	41,30
Valor máximo	13,20	79,60	36,80	4,96	1,62	42,20

sencia de suelos homogéneos en cuanto al contenido de arena y con alta variabilidad en lo que respecta a los contenidos de limo y arcilla. Tomando como base la cantidad media de arena y arcilla, se evidencia que la proporción entre ambas fracciones es de 10:1.

4.2 Caracterización de las variables consideradas

Una vez desarrollado el análisis descriptivo de las variables, se procedió a estudiar la forma y simetría de cada una según la estructura del suelo, para lo cual se utilizaron los diagramas de caja (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 y 7), los cuales consisten en rectángulos desde donde se levantan líneas verticales hacia arriba y hacia abajo de cada uno de sus lados de menor longitud.

A fin de caracterizar cada una de las variables consideradas en el presente estudio y con el objeto de mostrar una visión de las características físicas de los

suelos de la cuenca del río Maracay, se procedió a estudiar los diagramas de caja (Figuras 2 a 7) de la totalidad de las mediciones de cada variable definida en el presente trabajo, las características más resaltantes de cada una de ellas se presentan en el cuadro 5.

En general, los diagramas de caja incluyen la mediana, los percentiles 25 y 75, definidos como las bisagras de Tukey y una serie de valores que indican los datos más altos y más bajos, sin llegar a ser atípicos; adicionalmente, también permiten identificar los datos que llegan a ser extremos y los que se encuentran fuera de rango, teniendo en cuenta que se consideran atípicos los valores que se alejan hacia arriba contando desde el percentil 75 o hacia abajo, contando desde el percentil 25, 1.5 veces el rango intercuartílico (longitud de la caja), mientras que se consideran extremos o fuera de rango los que se alejan más de 3 veces la distancia intercuartílica, a partir de los mismos

Cuadro 5. Características de las variables estudiadas

Variable	Forma de la distribución	Datos atípicos	Datos extremos
Arcilla	Asimétrica (Sesgo a la derecha)	Presente (Límite superior)	Ausentes
Arena	Asimétrica (Sesgo a la izquierda)	Ausentes	Ausentes
DA	Asimétrica (Sesgo a la izquierda)	Ausentes	Ausentes
EPT	Asimétrica (Sesgo a la derecha)	Ausentes	Ausentes
LIMO	Asimétrica (Sesgo a la derecha)	Ausentes	Ausentes
Materia Orgánica	Asimétrica (Sesgo a la derecha)	Ausentes	Ausentes

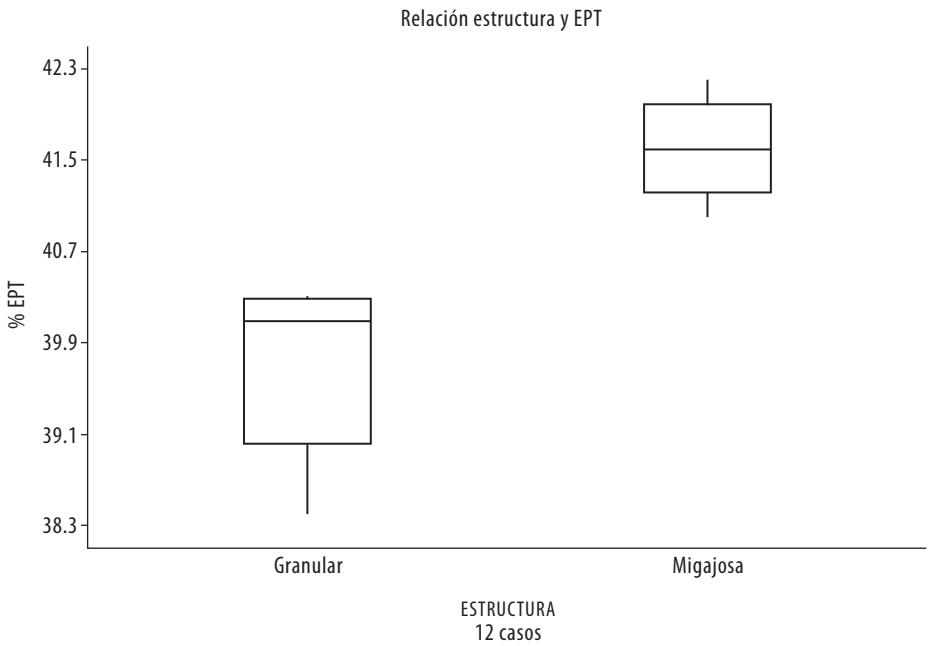


Figura 2. Diagramas de Caja que relacionan la estructura con el espacio poroso total del suelo

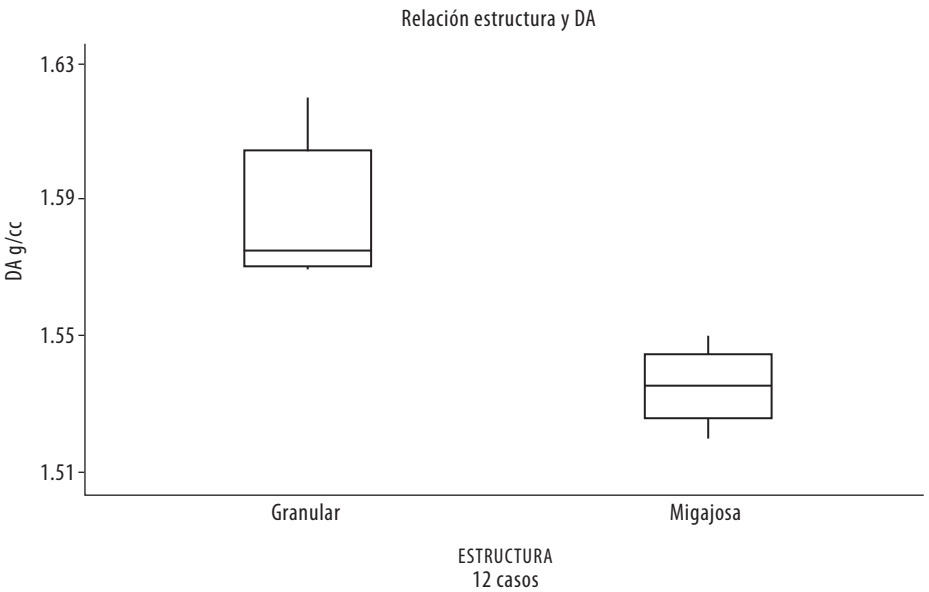


Figura 3. Diagramas de Caja que relacionan la estructura con la densidad aparente del suelo

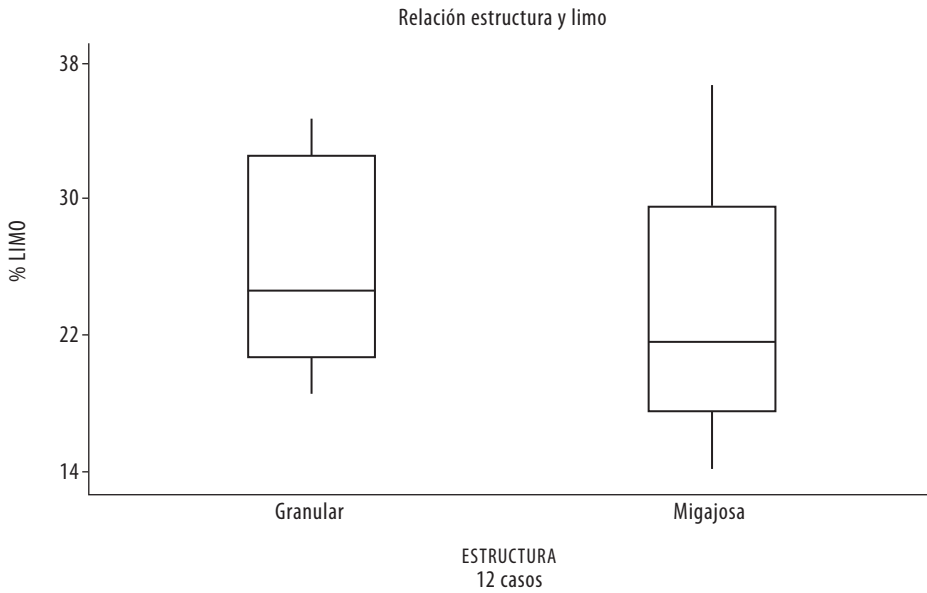


Figura 4. Diagramas de Caja que relacionan la estructura con el contenido de limo en el suelo

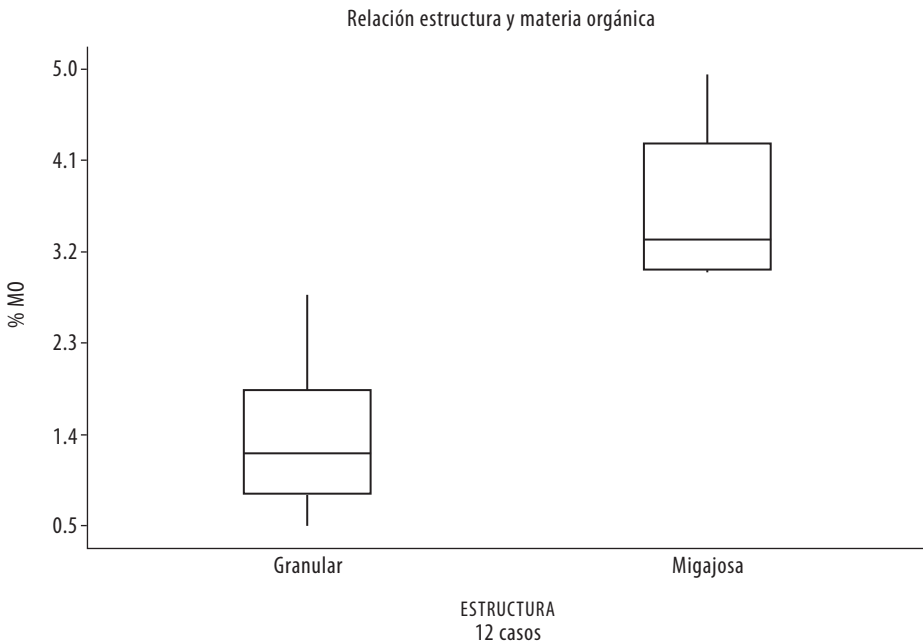


Figura 5. Diagramas de Caja que relacionan la estructura con el contenido de materia orgánica en el suelo

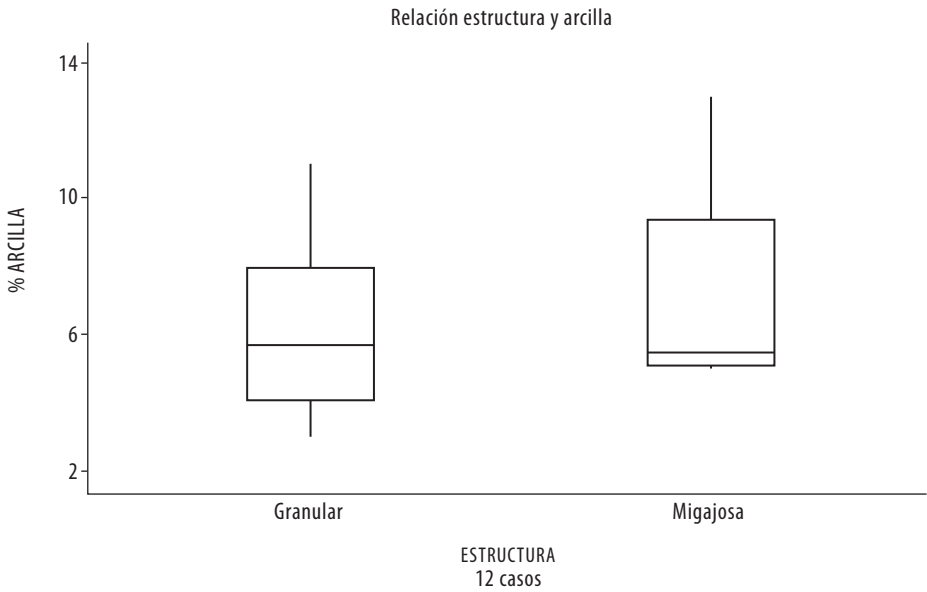


Figura 6. Diagramas de Caja que relacionan la estructura con el contenido de arcilla en el suelo

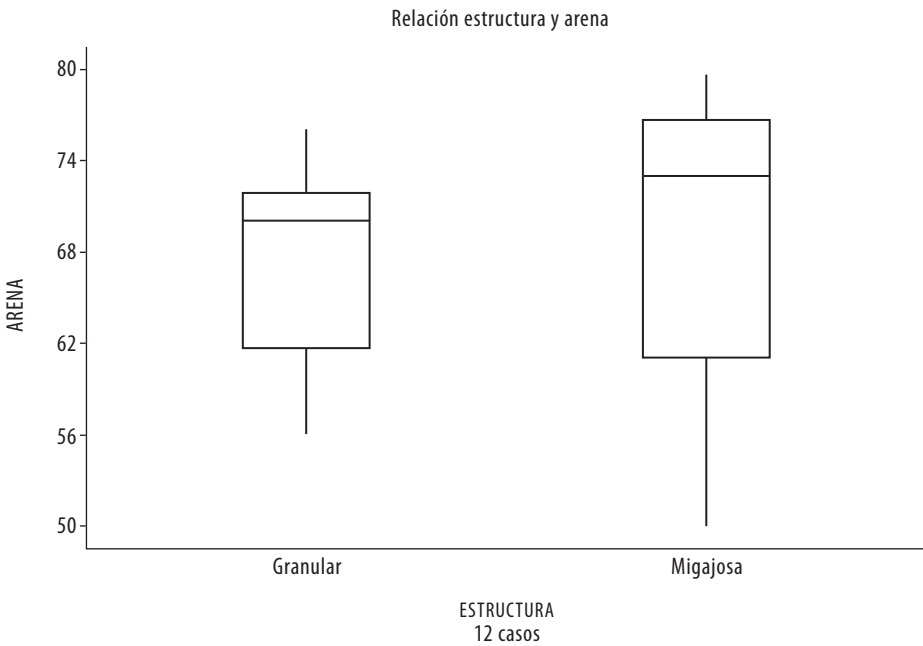


Figura 7. Diagramas de Caja que relacionan la estructura con el contenido de arena en el suelo

límites ya referenciados (Pardo y Ruiz, 2002; Hernández y González, 2006).

En el presente trabajo se exploran las formas de las distribuciones que tienen las variables espacio poroso total (EPT), densidad aparente (DA), contenido de materia orgánica, contenido de limo, arcilla y arena, para cada uno de los tipos de estructura de suelos (granular y migajoso), estableciéndose comparaciones entre cada una de ellas para cada tipo de estructura. Así, se puede observar en las figuras 2, 3, 4, 5, 6 y 7, en el diagrama de caja correspondiente a la variable estructura y su relación con las propiedades físicas, que en los suelos con estructura granular la variable tiene un comportamiento asimétrico, en contraposición a la distribución de la misma en suelos migajosos, donde tiene valores mayores y una forma simétrica, destacándose la ausencia de datos atípicos y extremos en ambos casos.

En general, se evidencia una forma simétrica en el EPT de los suelos migajosos contra una forma no simétrica en los suelos granulares (Figura 2), así como un valor de EPT considerablemente más alto en los suelos migajosos en relación a los granulares. Las características en cuanto a forma y valor de la variable EPT para cada tipo de suelo se resumen en el cuadro 6.

En cuanto a la variable DA (Figura 3), el comportamiento en suelos migajosos es no simétrico con sesgo a la derecha, mientras que en los suelos granulares resulta tener una forma simétrica. En lo referente a los valores, la DA es mayor en los suelos granulares que en los suelos

migajosos; la información se resume en el cuadro 7.

En cuanto a la variable limo (Figura 4), ambos tipos de suelos presentan distribuciones no simétricas con sesgo a la derecha, además de presentar valores casi coincidentes.

En la figura 5, en el diagrama de caja correspondiente a la variable materia orgánica, se observa que en los suelos con estructura granular la variable tiene un comportamiento asimétrico con sesgo a la derecha en ambas estructuras; sin embargo, en suelos migajosos tiene valores mayores, destacándose la ausencia de datos atípicos y extremos en ambos casos. Las características en cuanto a forma y valor de la variable materia orgánica para cada tipo de suelo se resumen en el cuadro 8.

En el caso del contenido de arcilla (Figura 6), los suelos granulares presentan asimetría con sesgo a la derecha, siendo los valores mayores en los suelos migajosos en relación a los granulares.

En lo referente al contenido de arena (Figura 7), ambos tipos de suelo presentan distribuciones con sesgo a la izquierda, aunque presentando valores mayores de arena los suelos migajosos en contraposición a los granulares.

Finalmente, es importante destacar el hecho de la ausencia de valores fuera de rango y extremos en las mediciones de cada una de las características físicas de los suelos estudiados, lo cual en primera instancia podría validar estadísticamente el procedimiento de recolección de datos utilizado en el presente trabajo.

Cuadro 6. Características de la variable espacio poroso total (EPT) con respecto a la estructura del suelo

Estadísticas	Estructura	
	Granular	Migajosa
Forma	Asimétrica (Sesgo a la izquierda)	Simétrica
Valor de la Mediana	Menor de 40	Mayor de 45
Valores Extremos	Ausentes	Ausentes

Cuadro 7. Características de la variable densidad aparente (DA)

Estadísticas	Estructura	
	Granular	Migajosa
Forma	Asimétrica (Sesgo a la derecha)	Simétrica
Valor de la Mediana	Mayor de 1,85	Menor de 1,85
Valores Extremos	Ausentes	Ausentes

Cuadro 8. Características de la variable materia orgánica (MO)

Estadísticas	Estructura	
	Granular	Migajosa
Forma	Asimétrica (Sesgo a la derecha)	Asimétrica (Sesgo a la derecha)
Valor de la Mediana	Menor de 1,4	Mayor de 3,2
Valores Extremos	Ausentes	Ausentes

4.3 Correlaciones entre las propiedades físicas

Las correlaciones que se encontraron (Cuadro 9) fueron agrupadas en la forma siguiente:

- Correlaciones altas negativas se encontraron entre los contenidos de limo y arena ($r = -0,94$); la densidad aparente y el porcentaje de materia orgánica ($r = -0,82$) y el espacio poroso total y la densidad aparente ($r = -0,9998$).
- Correlación moderada y negativa se encontró entre los porcentajes de arena y arcilla ($r = -0,6314$).
- Correlación alta y positiva se observó entre el espacio poroso total y el contenido de materia orgánica ($r = 0,8164$).

Cuadro 9. Coeficientes de correlación (PEARSON) entre las propiedades físicas de los suelos

	ARCILLA	MO	LIMO	ARENA	DA
MO	0.3170				
LIMO	0.3425	-0.1331			
ARENA	-0.6314	-0.0007	-0.9448		
DA	-0.2817	-0.8169	0.1325	-0.0111	
EPT	0.2846	0.8164	-0.1252	0.0041	-0.9998

d) Correlaciones muy bajas o casi nulas, tanto negativas como positivas, se encontraron entre las siguientes variables: limo/materia orgánica; arena/materia orgánica; densidad aparente/limo; densidad aparente/arena; densidad aparente/arcilla; espacio poroso total/arena; materia orgánica/arcilla.

4.4 Índice de plasticidad del suelo a diferentes profundidades

Zinck (1986a) expresa que cuando los materiales de alteración poseen minerales arcillosos de baja actividad el suelo es poco plástico; también plantea que la plasticidad depende de los contenidos de arcilla y de materia orgánica, manteniendo como criterio, que en aquellos suelos cuyo contenido de arcilla sea inferior al 25% y el contenido de carbono orgánico se presente por encima de un 1%, se comportan como no plásticos (Zinck, 1986b). Este criterio fue establecido por este autor para los estudios del suelo con fines de diagnosticar la susceptibilidad de los

mismos a producir deslizamientos en masa. Dicho criterio difiere del propuesto por Pla (1983), el cual fue sugerido con fines de manejo agrícola, para prever el riesgo de compactación de los suelos debido al uso de los equipos de labranza.

Zinck (1986c) expresa, al referirse a la susceptibilidad de los suelos a los movimientos de masa, que cuando éstos están mojados se magnifica este riesgo, por el hecho de existir diferencias de resistencia a la rotura en sentido vertical. Allí se generan discontinuidades que forman planos de debilidad a través de los cuales se pueden separar unos horizontes del suelo de los otros.

4.4.1 Límites de Atterberg: Valores de límite plástico, límite líquido e índices de plasticidad: Entre 0 y 20 cm de profundidad

Los valores encontrados de límite plástico oscilan entre 17,80% y 32,22% (Cuadro 10), los cuales coinciden con los rangos (entre 15 y 40 %) reportados por Zinck (1986c) para los suelos de la selva nublada de ‘Rancho Grande’, que

presentan características y condiciones edafoclimáticas similares a las de los suelos objeto de éste estudio, algunos de los cuales también forman parte del Parque Nacional 'Henri Pittier'. De acuerdo con este último autor, los materiales a esta profundidad podrían considerarse relativamente poco plásticos, atribuible al predominio de arcillas del tipo 1:1, afirmación que se basa en los bajos valores de capacidad de intercambio catiónico observados en esos suelos. Aunado a la condición anterior, está el hecho que estos suelos presentan un bajo contenido de arcilla (>10%) y un contenido de materia orgánica mayor de 1%.

En cuanto a los valores de límite líquido, puede observarse (Cuadro 10) que los mismos están comprendidos entre 28,50% y 44,59%, valores que concuerdan con los rangos encontrados por Zinck (1986c) en los suelos de la selva nublada de 'Rancho Grande' (entre 24 y 61%). Los suelos de esta zona son mucho más aptos de entrar en estado líquido que en estado plástico, ya que de contar con la cantidad de agua suficiente pueden pasar directa-

mente del estado sólido al líquido, favoreciendo la ocurrencia de un potencial deslizamiento en masa (Zinck, 1986c).

Con relación a los valores obtenidos de los Índices de Plasticidad (Cuadro 10), éstos resultaron entre 10,70 y 12,37, los cuales son similares a los señalados por Zinck (1986c), (entre 7 y 17), quien sugiere que en estos suelos el rango de plasticidad es bastante estrecho, lo que significa que con la adición de una pequeña cantidad de agua, estos suelos son susceptibles de pasar del estado plástico al líquido.

4.4.2 Límites de Atterberg: Valores de límite plástico, límite líquido e índices de plasticidad: entre 20 y 50 cm de profundidad

Como se puede observar en el cuadro 11, los valores obtenidos del límite plástico para una profundidad entre 20 y 50 cm son similares a los encontrados para los materiales localizados entre 0 y 20 cm de profundidad. Posiblemente la similitud en los resultados se deba a que no exista una diferencia importante en

Cuadro 10. Valores de límite plástico, límite líquido y del índice de plasticidad entre 0 y 20 cm de profundidad para varios puntos dentro de la cuenca del río Maracay

Muestra	% de Humedad		Índice de plasticidad
	Límite plástico	Límite líquido	
Kilómetro 18	24,38	36,17	11,79
El Castaño	18,19	29,10	10,91
Las Cocuizas	17,80	28,50	10,70
UPEL	32,22	44,59	12,37

Cuadro 11. Valores de límite plástico, límite líquido y del índice de plasticidad entre 20 y 50 cm de profundidad para varios puntos de la cuenca del río Maracay

Muestra	% de Humedad		Índice de plasticidad
	Límite plástico	Límite líquido	
Kilómetro 18	20,50	32,10	11,60
El Castaño	16,98	27,50	10,52
Las Cocuizas	16,50	27,12	10,62
UPEL	29,30	40,91	11,61

la naturaleza de los materiales a ambas profundidades, aun cuando resulte lógico asumir que el contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad en el perfil; sin embargo, este hecho no se ve reflejado en los datos obtenidos, que indican que los suelos a esta profundidad pueden considerarse también como poco plásticos.

En este mismo orden de ideas, los valores observados para el límite líquido oscilan entre 27,12 % y 40,91% (Cuadro 11). Estos valores se encuentran dentro del intervalo indicado por Zinck (1986c) en los suelos de la selva nublada de ‘Rancho Grande’, el cual comprende porcentajes de humedad entre 24 y 61. Al igual que en el caso del límite plástico, la similitud de los valores del límite líquido obtenidos en las dos profundidades estudiadas, apoya el planteamiento que se hizo en relación al límite de plasticidad concerniente a la naturaleza de los materiales presentes en esta sección del perfil.

En el cuadro 11 se observa que los valores del índice de plasticidad de los suelos localizados entre 20 y 50 cm de

profundidad, varían de 10,52 a 11,61, estando nuevamente comprendidos dentro del intervalo observado por Zinck (1986c) en los suelos de la selva nublada de ‘Rancho Grande’, en los que prevalece una situación similar a la existente a una profundidad entre 0 y 20 cm.

4.5 Estudio de la normalidad de las variables

En el caso concreto de la presente investigación, teniendo en cuenta que se estudian variables consideradas como continuas, la exploración de los datos estuvo orientada igualmente hacia la verificación de los supuestos de normalidad de cada una de ellas, por lo que se hicieron las pruebas respectivas.

Para evaluar la normalidad se aplicó la prueba de Wilk-Shapiro a los valores obtenidos en las mediciones para cada una de las variables por separado de las previamente definidas en el estudio como medidas en escala de razón. Así se obtuvieron los estadísticos (W) de Wilk-Shapiro, en conjunto con su respectivo p-

Cuadro 12. Normalidad de las variables que definen las propiedades físicas

Variables	Estadístico de prueba	Nivel de significación	P-valor	Decisión
Arcilla	W= 0,8803	0,05	0,0885	Normal
Limo	W= 0,9275	0,05	0,3547	Normal
Arena	W= 0,9130	0,05	0,2328	Normal
DA	W= 0,9567	0,05	0,7362	Normal
EPT	W= 0,9608	0,05	0,7954	Normal

valor, los cuales se muestran en el cuadro 12, como parte integrante de los resultados del presente trabajo de investigación, todo esto en el marco de las pruebas de hipótesis correspondientes que sustentan la decisión.

Los resultados permiten observar que todas las variables asociadas a la exploración, susceptibles de ser medidas como continuas, presentan comportamiento normal, ya que el estadístico obtenido en ambos grupos, combinado con el p-valor, arrojó suficientes evidencias para aceptar la hipótesis de normalidad, que en el caso de la prueba de Wilk Shapiro es la hipótesis nula. Es importante en este aparte considerar que los resultados coinciden para todas las variables, lo cual abona el terreno para el estudio futuro de modelos funcionales, aunque se recomienda que se repita esta misma prueba de normalidad a las variables, pero con un mayor número de observaciones.

5. Conclusiones

El análisis exploratorio permitió obtener una comprensión preliminar de los ras-

gos generales de las variables en estudio. Se encontró que más del 90% de los suelos estudiados presentan textura gruesa, con contenido medio de arena de 68%, que unido a un coeficiente de variación menor del 15%, sugiere la presencia de suelos altamente arenosos y homogéneos en cuanto a esa característica, la cual propicia su fluidificación cuando se saturan de humedad.

Los coeficientes de variación para los porcentajes de limo, arcilla y arena, parecieran indicar la presencia de suelos homogéneos en cuanto al contenido de arena y con alta variabilidad en lo que respecta a los contenidos de limo y arcilla.

En relación a las características estructurales, 2/3 de los suelos seleccionados presentan estructura granular, cuyos valores de DA son mayores que los de los suelos migajosos; sin embargo, en estos últimos los valores de EPT, contenido de materia orgánica, arena y arcilla superan a los encontrados en los suelos de estructura granular. En cuanto a la variable limo se presentan valores casi coincidentes en ambos tipos de suelos.

Se observó una correlación alta y positiva entre el espacio poroso total y el contenido de materia orgánica, mientras que se encontraron correlaciones altas y negativas entre los contenidos de limo y arena, la densidad aparente y el porcentaje de materia orgánica y entre el espacio poroso total y la densidad aparente.

Los índices de plasticidad obtenidos indican que estos suelos son poco plásticos, por tanto, susceptibles de pasar del estado plástico al líquido al agregar porciones reducidas de agua, lo cual incrementa el riesgo de ocurrencia de deslizamiento de los materiales, condición que puede agravarse con la intervención antrópica excesiva.

Es importante alertar a la ciudadanía que habita en las áreas drenadas por el río Maracay y sus afluentes sobre los riesgos que pueden afectarla, en caso de desencadenarse eventos torrenciosos, contribuyendo así al conocimiento de la problemática y a la incorporación activa de los integrantes de la comunidad para garantizar el éxito de la actividad preventiva.

6 . Agradecimiento

Los autores agradecen al Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA) de la Universidad Rómulo Gallegos y al Núcleo de Investigación Ambiental con Fines Educativos (NIAFE) de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (Maracay) por el apoyo técnico para la realización de este estudio. Del mismo modo expresan su

gratitud al Profesor José Guillermo Sierra Rodríguez por el apoyo técnico en la elaboración de los mapas.

7. Referencias citadas

- ANDERSON, J. M. and J. INGRAM. 1993. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. CAB International. Wallingford-UK. 62 p.
- ELIZALDE, G.; ROSALES A. y L. BASCONES. 1987. *Aprender a convivir con la montaña. Catástrofe en la cuenca del río El Limón. Carta Ecológica*. Lagoven. 39: 1-4.
- FERNÁNDEZ-BADILLO, A. y G. ULLOA. 1990. *Fauna del Parque Nacional Henri Pittier, Venezuela: Composición y diversidad de la mastofauna. Acta Científica Venezolana*. 41: 50-63.
- HERNÁNDEZ, R. y M. GONZÁLEZ. 2006. **Estadística y metodología de investigación en ciencias**. Primera Edición. Trillas. México. 315 p.
- HIDALGO, R. 1987. *Algunos aspectos físico naturales y antrópicos relacionados con el evento erosivo del 6 de septiembre de 1987 ocurrido en la cuenca alta y media del río El Limón, estado Aragua*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Dirección General Sectorial de Información e Investigación del Ambiente. Dirección de Suelos, Vegetación y Fauna. División de Suelos. Caracas-Venezuela. Serie Informes Técnicos DGSIIA/IT/227, 47 p. (Inédito).
- LÓPEZ, R. y M. LÓPEZ. 1978. **El diagnóstico de suelos y plantas**. Mundi-Prensa. Madrid-España. 287 p.

- PARDO, M. y M. RUIZ. 2002. **SPSS 11 Guía para el análisis de datos**. Primera Edición. Mc Graw Hill. Madrid-España. 850 p.
- PLA, I. 1983. *Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales*. **Revista de la Facultad de Agronomía UCV**. Alcance 32: 5-91. Maracay-Venezuela.
- PORTA, J.; LÓPEZ M. y C. ROQUERO. 1999. **Edafología para la agricultura y el medio ambiente**. Segunda Edición. Mundiprensa. Madrid-España. 849 p.
- ROMERO, N.; M. RÍOS. y L. BARRIOS. 2004. *Caracterización química de los suelos en los tramos alto y medio de la cuenca del río Maracay, estado Aragua, con fines didácticos*. **Revista Paradigma**. 25 (1): 177-198.
- SALCEDO, D. 2000. Los flujos torrenciales catastróficos de diciembre de 1999, en el estado Vargas y en el área metropolitana de Caracas. Características y lecciones aprendidas. *Memorias de las Jornadas de Investigación. Facultad de Ingeniería, JIFI 2000*, Universidad Central de Venezuela. Caracas-Venezuela. (27 de noviembre al 01 de diciembre)
- SÁNCHEZ, B.; RUIZ, M. y M. RÍOS. 2005. *Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua*. **Agro-nomía Tropical**. 55(4): 404-534
- STATISTIX for Windows version 8. User's Manual. Analytical Software. Tallahassee, FL, USA. 2003.
- ZÉREGA, L. 1995. *Metodología para caracterizar preliminarmente a un suelo en campo*. **FONAIAP. DIVULGA: XIII (47):2-8**.
- ZINCK, A. 1986a. Características y fragilidad de los suelos en ambiente de selva nublada: El ejemplo de Rancho Grande. En: O. Huber (ed.). **La selva nublada de Rancho Grande Parque Nacional 'Henri Pittier'. El ambiente físico, ecología vegetal y anatomía vegetal**. 31-66 Fondo Editorial Acta Científica Venezolana y Seguros Anauco. Caracas-Venezuela.
- ZINCK, A. 1986b. Una toposecuencia de suelos en el área de Rancho Grande: dinámica actual e implicaciones paleogeográficas. En: O. Huber (ed.). **La selva nublada de Rancho Grande Parque Nacional 'Henri Pittier'. El ambiente físico, ecología vegetal y anatomía vegetal**. 67-90. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana y Seguros Anauco. Caracas-Venezuela.
- ZINCK, A. 1986c. Propiedades y estabilidad mecánicas de los suelos en ambiente de selva nublada. En: O. Huber (ed.). **La selva nublada de Rancho Grande Parque Nacional "Henri Pittier". El ambiente físico, ecología vegetal y anatomía vegetal**. 91-105. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana y Seguros Anauco. Caracas-Venezuela.