

ESTUDIO EXPLORATORIO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE SUELOS SUSCEPTIBLES A DESLAVES EN LA CUENCA DEL RÍO MARACAY, ESTADO ARAGUA

EXPLORATORY STUDY OF CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS SUSCEPTIBLE TO DEBRIS FLOWS
IN THE MARACAY RIVER BASIN, ARAGUA STATE

**MARÍA M. RÍOS CABRERA, MAGALY RUIZ DAGER,
RUBÉN MADURO ROJAS, HUGO GARCÍA**

RESUMEN

Se realizó un estudio exploratorio de las propiedades químicas en suelos de la cuenca del río Maracay (Aragua, Venezuela), para estimar las relaciones entre éstas y la susceptibilidad a ocurrencia de deslizamientos superficiales. Mediante un análisis descriptivo univariado se evaluó: pH, contenido de materia orgánica (MO), calcio, magnesio, fósforo, potasio y sodio. Se encontró que la variabilidad de estas propiedades es extremadamente alta. Los coeficientes de variación oscilaron entre 18 % y más del 100 %. El pH y el contenido de magnesio, presentaron los niveles menores de variabilidad. En los suelos con estructura granular los valores de MO, calcio y potasio, resultaron más bajos que en los suelos migajosos. Correlaciones altas positivas se encontraron entre pH y P; K y MO, pH y Ca y Mg con Ca. La desaturación de bases en el complejo de intercambio en los sitios elevados de la toposecuencia, conlleva a la adsorción de elementos tóxicos para las plantas como el aluminio, asimismo, se promueve la formación de minerales secundarios del tipo 1:1, con características poco plásticas al aumentar el contenido de agua, haciendo a estos suelos susceptibles a deslaves y transformándolos en un elemento de riesgo socionatural, que puede agravarse con la intervención antrópica excesiva.

Palabras clave: deslaves, propiedades químicas, cuenca del río Maracay, toposecuencia

SUMMARY

An exploratory study on soil chemical properties of the river basin Maracay (Aragua, Venezuela) was conducted to estimate the relationship between them and the risk of shallow landslides. By univariate descriptive analysis mean, pH, organic matter content (OM), calcium, magnesium, phosphorus, potassium and sodium, were evaluated. It was found that the variability of chemical properties is extremely high. The coefficients of variation ranged from 18 % to more than 100 %. The pH and magnesium were the variables which had lower levels of variability. In soils with granular structure, values corresponding to the percentage of OM, calcium and potassium were lower than loam soil. High positive correlations were found between the P content and pH, OM and K, pH and Ca, Ca and Mg. The desaturation of bases in the exchange complex in the high places of the toposequence, leads to the adsorption of toxic elements for the plants, such as aluminum, and also promotes the formation of secondary minerals of the 1:1 type, which tend to have little plastic characteristics in the presence of a specific water content, which makes these soils susceptible to being mobilized and transformed into a socio-natural element of risk, that can be aggravated by excessive anthropogenic intervention.

Key words: debris flows, Maracay river basin, toposequence, chemical properties

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Maracay es una zona donde se presentan diferentes amenazas naturales, debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas, topográficas y especialmente, a las características climáticas y edafológicas que allí imperan, siendo los deslizamientos uno de los peligros potenciales en esta área.

Salcedo (2000) define los deslizamientos como flujos superficiales con espesores que no superan los 2 m, pero que desarrollan escarpes muy largas desde los topes de fila hasta el pie de laderas naturales y acarrear consigo tanto el suelo con la capa vegetal, como el manto de alteración. Los deslizamientos anteceden a los flujos torrenciales que ocurren cuando interactúan un conjunto de variables como son: el relieve con pendientes pronunciadas y extensas, presencia de materiales geológicos susceptibles a ser movilizados y condiciones meteorológicas con lluvias intensas (Elizalde *et al.*, 1987).

En suelos ubicados en la cuenca del río Maracay, (Ríos *et al.* 2010), se efectuó un estudio exploratorio de las propiedades físicas y de la materia orgánica, para relacionarlas con la susceptibilidad de los mismos a producir deslizamientos superficiales. Se caracterizaron algunas propiedades físicas y se compararon tomando como referencia su estructura y su asociación con la cohesión y la adhesividad. Se encontró que los suelos ubicados a mayor altitud 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. 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 deslizamientos, condición agravada por la intervención antrópica.

Al igual que en el caso de las propiedades físicas, el estudio de las características químicas de los suelos a lo largo de una toposecuencia, ayuda a comprender su comportamiento bajo determinadas circunstancias. Las reacciones químicas que ocurren en condiciones de intensas y frecuentes precipitaciones, aunadas a una temperatura favorable, auspician la alteración de los materiales geológicos, lo cual aumenta la susceptibilidad de los mismos a sufrir deslizamientos en masa, dado el debilitamiento de la roca original al alterarse (Elizalde *et al.*, 1987). Las características generales de estos materiales crean condiciones propicias para un ambiente en el que se favorecen las reacciones de oxidación, las cuales contribuyen a desestabilizar la estructura cristalina de ciertos minerales contenidos en las rocas presentes en dicha área y a la formación de nuevas especies minerales. Los materiales que están ubicados en los tramos altos de la cuenca, están propensos a sufrir deslizamientos superficiales como parte de la geodinámica que allí se desarrolla.

Otro proceso que influye en el decrecimiento de la estabilidad de los materiales, es la disminución de la cantidad de materia orgánica fresca que ingresa al suelo, lo que conduce a la reducción en la tasa de producción de las sustancias húmicas. Estas últimas tienen una incidencia positiva importante en lo que a formación de agregados y estabilización de la estructura se refiere (Oades y Waters, 1991; Tisdall y Oades, 1982; Oades, 1984). En suelos donde las partículas están agregadas, el diseño y la perdurabilidad del espacio poroso depende en gran medida de la forma, tamaño, distribución y estabilidad de los agregados (Quirk y Murray, 1991).

De acuerdo al modelo teórico propuesto por Tisdall y Oades (1982), existen dos tipos de agregados: micro y macroagregados (según su diámetro menor o mayor de 250 μm , respectivamente), y sugiere que la estabilidad de la estructura depende en gran parte de los microagregados del suelo, por ser estos más estables al humedecimiento y a los esfuerzos mecánicos, no ser susceptibles a las prácticas de manejo y además, son los que integran en conjunto a los macroagregados. En el mismo contexto, Jastrow y Miller (1998) indican que la naturaleza de la estabilidad de los agregados depende de la cantidad y fuerza de varios tipos de asociaciones órgano-minerales y agentes de enlace.

En los macroagregados los agentes enlazantes están constituidos por las raíces, hifas de hongos y organismos rizosféricos, en cambio, en los microagregados su estabilidad se debe a que las partículas se encuentran unidas por medio de la materia orgánica humificada, a través de una variedad de asociaciones órgano-minerales que ocurren mediante puentes de cationes polivalentes, uniones por puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals e interacciones con óxidos hidratados y aluminosilicatos (Oades, 1984).

La estabilización química de la materia orgánica es entendida como el resultado de la unión química o físico-química entre la materia orgánica y los componentes minerales del suelo (arcilla y limo). Algunas investigaciones han reportado la relación entre la estabilización del carbono y nitrógeno orgánico en el suelo y el contenido de arcilla y limo (Hassink, 1997; Feller y Beare, 1997). Más importante que la cantidad de arcilla, es el tipo de la misma, ya que su naturaleza influye sobre la estabilización del carbono y del nitrógeno (Feller y Beare, 1997; Torn *et al.*, 1997).

La formación y destrucción de asociaciones órgano-minerales, influyen sobre el ciclo del carbono orgánico y por ende, inciden en la estabilidad de los agregados del suelo. A dichas asociaciones se les reconoce como integrantes del mecanismo de enlace que otorga alta estabilidad a los microagregados frente al humedecimiento súbito. Se ha indicado que a medida que aumenta la fuerza de los enlaces que mantienen unidos los componentes de los agregados, mayor será la resistencia de

éstos a descomponerse o desagregarse cuando se le someta a la acción de cualquier agente físico o químico (Rondón y Elizalde, 1997).

En función a lo expuesto, se planteó efectuar el presente trabajo cuyo propósito fue realizar un estudio exploratorio de las propiedades químicas de suelos ubicados en la cuenca del río Maracay, que permita relacionar dichas propiedades con la susceptibilidad a desencadenar deslizamientos.

ÁREA DE ESTUDIO

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 Choróni al norte, la Fila Cola de Caballo al sureste y el lago de Valencia al sur. Se encuentra ubicada geográficamente en el tramo Central de la Serranía 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 (Ríos *et al.*, 2010).

Posee variaciones importantes de relieve, desde las montañas de más de 2000 metros de altura hasta la llanura aluvial y lacustrina ligeramente por encima de los 400 msnm. El área estudiada corresponde con los tramos alto y medio de la cuenca del río Maracay, desde la divisoria de aguas en la vía hacia Choróni como punto más al norte, dentro del Parque Nacional Henri Pittier, hasta la Av. Casanova Godoy como límite sur del estudio (Ríos *et al.*, 2010).

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.

DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Ubicación de los suelos estudiados: dentro de la cuenca del río Maracay se ubicaron un total de 12 puntos a lo largo de una toposecuencia, en la carretera Maracay vía Choróni, en dirección norte-sur (cuadro 1). Los suelos localizados en el tramo de la cuenca alta en estudio corresponden con los puntos 1, 2, 3 y 4. 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 fueron tomados de las inmediaciones del agua Mineral "El Castaño" ubicados en un bioma de sabana arbolada. Con relación a los suelos identificados con los números 7, 8 y 9 fueron tomados cerca del Área

Cuadro 1.**Ubicación y características de los sitios de muestreo de suelos en la cuenca del río Maracay, estado Aragua**

N°	Ubicación	Descripción	Observaciones
1	Km 18 vía Choroní	Corte de la carretera en ladera sur de la montaña en una zona cubierta de vegetación característica de la 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	Km. 18 vía Choroní	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 (chapparó)
3	Km. 18 vía Choroní	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	Km. 18 vía Choroní	Ladera sur de la montaña bajo vegetación de sabana	Vegetación de sabana con escasos arbustos. Sometido a quema. Suelo erosionado.
5	Embotelladora de 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 de 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 de 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

Fuente: Ríos *et al.* (2010)

Recreacional “Las Cocuizas” a diferentes alturas, estando los dos últimos ubicados en el bosque de galería, en las cercanías del cauce del río Maracay, mientras que el primero se encuentra en la sabana de montaña.

Con relación a los puntos 10, 11 y 12 están situados a lo largo de la avenida Las Delicias de Maracay. El primero corresponde con la Urb. El Toro de Maracay, el segundo con los terrenos adyacentes a la UPEL-Maracay y el tercero a las inmediaciones de la Av. Casanova Godoy cruce con la Av. Las Delicias (figura 1).

METODOLOGÍA EMPLEADA

En cada uno de los doce puntos seleccionados en la toposecuencia, se delimitó un área de 4 x 4 m, en la que se tomaron cinco submuestras, las cuales se mezclaron para conformar una muestra compuesta. La profundidad de muestreo fue de 0 a 20 centímetros.

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 milímetros fue sometida a los análisis químicos de rutina como pH, contenido de P disponible, K, Ca, Mg, Na intercambiables y materia orgánica.

El pH se midió en una suspensión suelo-agua en una relación de 1:1. P, K, Ca, Na y Mg se extrajeron con solución Carolina del Norte. El fósforo se determinó por espectrofotometría UV visible (Medición de la intensidad del color amarillo posterior al añadido del reactivo Vanadato-Molibdato) y el K, Ca, Na y Mg por espectrofotometría de absorción atómica (UCV, 1993). El carbono orgánico total (COT) se evaluó por el método de Anderson e Ingram (1993), basado en la oxidación del carbono orgánico por una mezcla oxidante de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

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 disponer de 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

Figura 1.
**Imagen satelital de Maracay, Landsat ETM (resolución de 60 metros),
tomada el 14/03/2001.**



Fuente: FUNDACITE Aragua. Modificada por los autores

requerirse la transformación de los datos como paso previo a futuros análisis.

En este estudio 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 mediante los diagramas de caja, 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. Adicionalmente se desarrolló un proceso de clasificación y comparación descriptiva de las variables que definen las características químicas 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). Para el análisis estadístico del pH se usaron las concentraciones del ion hidrógeno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades químicas de los suelos: Análisis descriptivo

Un primer aspecto que se contempló en lo referente a los resultados y su discusión fue el análisis preliminar de los datos, lo cual es considerado por Hernández y González (2006) como elemento esencial de cualquier estudio exploratorio, ya que permite dar al investigador una primera comprensión de los rasgos generales de las variables examinadas.

Como parte del análisis preliminar se materializó un estudio descriptivo de las principales características químicas presentes en los suelos estudiados, cuyos valores descriptivos se muestran en el Cuadro 2. 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 3.

Tomando como base el análisis del componente de medidas de tendencia central y posición, es de notar que solamente en el caso del pH y el magnesio (Mg) existe cierta aproximación entre los valores de la mediana y la media, es decir, que desde un punto de vista de simetría solamente estas dos variables (pH y cantidad de Mg) presentan características proporcionales, que podrían hacerlas presumir como simétricas desde el punto de vista gráfico con respecto a su valor central, destacándose igualmente que son estas variables las que presentan los niveles menores de variabilidad cuando se considera como elemento de referencia el coeficiente de variación (CV).

En cuanto a los resultados descriptivos reflejados al estudiar la dispersión, se destaca la heterogeneidad de las propiedades químicas, la cual surge como resultado de analizar los coeficientes de variación expresados de manera porcentual, los cuales resultan extremadamente altos, siendo el menor coeficiente de variación de 18 %,

observándose el hecho que tres de las variables (Ca, Na, P) presentan coeficiente de variación (CV) por encima del 100 %, igual número de variables (K, Mg, MO) presentan CV por encima del 40 % y una (pH) tiene un CV de 18 %, lo cual arroja que una primera visión muestra al pH como la variable de mayor homogeneidad entre los parámetros estudiados.

Aunque el coeficiente de variación del pH es de 18 %, desde el punto de vista químico el rango de valores es amplio, lo cual determina diferentes características en los suelos estudiados. Al comparar los resultados obtenidos con la clasificación de Casanova (2005), se puede observar que los suelos objeto de estudio varían desde fuertemente ácidos hasta ligeramente alcalinos. Los más ácidos fueron los ubicados en la parte elevada de la toposecuencia en los puntos localizados en la carretera Maracay Choroní, identificados con los números 2 y 3 (cuadro 1), correspondiendo a suelos fuertemente ácidos. Estos puntos se encuentran dentro de la sabana de montaña.

Con relación a los suelos moderadamente ácidos, los puntos 1 y 8 pertenecen a un bioma de bosque de galería, mientras que los puntos 4, 5, 6 y 7 se ubican en un bioma de sabana arbolada. El punto número 9, situado dentro del bosque de galería del Área Recreacional Las Cocuizas, en las cercanías del cauce del río Maracay, es el único que clasifica como ligeramente ácido.

No se detectaron suelos que se puedan catalogar como neutros, lo cual puede estar indicando la necesidad de realizar una densidad de muestreo más alta para poder observar la variabilidad espacial del pH y si existe alguna relación entre este parámetro y la topografía o la formación vegetal.

Finalmente se destaca que en los puntos identificados con los números 10, 11 y 12, correspondientes a los suelos ubicados en los terrenos de la UPEL Maracay y la Av. Las Delicias, se hallan suelos ligeramente alcalinos.

Es de hacer notar que el 50 % de las muestras analizadas clasifican como suelos moderadamente ácidos y están localizados aproximadamente en la parte intermedia de la toposecuencia. Mientras que los suelos ligeramente alcalinos se encuentran en la zona de topografía más baja.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede puntualizar que el comportamiento del pH va pasando desde fuertemente ácido en la parte alta de la montaña hasta moderadamente alcalino en la llanura aluvial. Probablemente al ser alterados los materiales parentales en las partes altas, los minerales fácilmente solubles son movilizados, resultando un bajo potencial de intercambio para esos elementos (Ca y Mg) y una disminución importante de la cantidad de minerales primarios fácilmente alterables. Como remanente quedarían los minerales más resistentes (cuarzo) y los minerales secundarios (óxidos) se incrementarían, favoreciéndose la solubilidad del aluminio contenido en esos materiales, que al alcanzar cierto

Cuadro 2.**Características químicas de los suelos presentes en la cuenca del río Maracay, estado Aragua**

Ubicación	N°	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS						
		pH	M.O (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Ca (mg kg ⁻¹)	Na (mg kg ⁻¹)	Mg (mg kg ⁻¹)
Km 18. Vía Choroní	1	5,93	2,78	5	76	838	1	192
	2	4,64	1,21	4	57	71	4	47
	3	4,72	1,42	2	47	137	10	62
	4	5,08	0,53	6	35	57	18	121
Agua El Castaño	5	5,17	0,60	3	56	3042	7	242
	6	5,01	1,25	5	40	457	11	189
Las Cocuizas	7	5,98	1,03	21	53	394	1	148
	8	5,01	4,96	12	146	216	7	139
	9	6,41	3,03	7	67	1158	76	254
UPEL Av. Las Delicias.	10	7,10	3,02	86	73	2000	4	98
	11	7,60	2,32	71	61	3269	9	234
	12	7,24	3,64	127	167	3046	14	322

Fuente: Trabajo de campo realizado por los autores en el transcurso del año 2009.

potencial comienza a ser adsorbido en los sitios de intercambio iónico. Así en la medida que el Al³⁺ y el H⁺ sustituyan al Ca⁺² y Mg⁺² en los sitios de intercambio, estos cationes se verán desplazados y se irán concentrando paulatinamente en los sitios topográficamente más deprimidos.

La desaturación de bases en el complejo de intercambio en los sitios elevados, conlleva a la adsorción de elementos tóxicos para las plantas (Al), asimismo, se promueve la formación de minerales secundarios del tipo arcilla 1:1 (Zinck, 1986). Estos materiales arcillosos de neoformación, tienden a poseer características poco plásticas ante la presencia de un determinado contenido de agua (Ríos *et al.*, 2010), lo cual los hace susceptibles a ser movilizados y los transforma en un elemento de

Cuadro 3.
Medidas de tendencia central y de dispersión de las variables en estudio

Medida	Variable						pH
	Ca	K	Mg	MO	Na	P	
N	12	12	12	12	12	12	12
Media	1223,8	73,17	170,67	2,15	13,5	29,08	5,82
SD	1269,5	41,02	83,18	1,37	20,32	41,74	1,05
CV (%)	103,74	56,06	48,74	63,65	150,54	143,52	18,00
Valor mínimo	57,00	35,00	47,00	0,53	1,00	2,00	4,64
Primer cuartil	156,75	48,50	103,75	1,07	4,00	4,25	5,01
Mediana	647,50	59,00	168,50	1,87	8,00	6,50	5,55
Tercer cuartil	2781,5	75,25	240,00	3,03	13,25	58,50	6,93
Valor máximo	3269,0	167,00	322,00	4,96	76,00	127,00	7,60

SD = Desviación Estándar; CV = Coeficiente de Variación.

Fuente: Cálculos propios basados en datos del cuadro 2.

riesgo socionatural, ya que se origina en el medio físico, pero es agudizada por la intervención humana en la zona, a través de diferentes acciones como pueden ser la tala indiscriminada, incendios de vegetación, construcción de infraestructura, instalación de tendido eléctrico, entre otros, que tienden a acelerar los procesos naturales.

En la parte de piedemonte y de llanura aluvial, la meteorización ha alcanzado grados moderados, por lo que en los sitios de intercambio aún persisten cationes como el Ca^{+2} y el Mg^{+2} , así como algo de K^{+} y Na^{+} (cuadro 2). Se infiere un decrecimiento en las cantidades de Ca^{+2} y el Mg^{+2} a medida que va aumentando el grado de meteorización de los materiales, ya que estos cationes van siendo sustituidos paulatinamente por Al^{+3} y H^{+} . La movilización del fósforo (cuadro 2) sigue la misma tendencia que el calcio y el magnesio, lo cual evidencia el enriquecimiento mineral de las zonas bajas a expensas del transporte de los materiales provenientes de las partes elevadas.

A fin de caracterizar cada una de las variables consideradas en el presente estudio y obtener una visión global de los componentes químicos de los suelos en la cuenca del río Maracay, se procedió a estudiar los diagramas de caja. De la totalidad de las mediciones de cada variable definida se relacionaron, en primera instancia, la estructura con los componentes químicos presentes, detallando sus valores y forma según cada elemento químico.

Una vez desarrollado el análisis descriptivo de las propiedades químicas, se estudió la forma y simetría de cada variable según la estructura del suelo descrita por Ríos *et al.* (2010) (cuadro 4), utilizando los diagramas de caja (figura 2), los cuales consisten en rectángulos desde donde se desprenden líneas verticales hacia arriba y hacia abajo de cada uno de sus lados de menor longitud. 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. Se consideran atípicos los valores que se alejan hacia arriba desde el percentil 75 o hacia abajo 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 límites ya referenciados (Pardo y Ruiz, 2002; Hernández y González, 2006).

Se presenta un evidente contraste entre el contenido de potasio (K) en los suelos con estructura granular y migajosa (Ríos *et al.* 2010). Se observa que la distribución de los contenidos de K en suelos granulares resulta asimétrica, mientras que en los suelos migajosos esa distribución presenta alto nivel de simetría y los valores obtenidos son superiores (figura 2). En los suelos con estructura granular los porcentajes de materia orgánica (MO) son bajos y su distribución presenta características simétricas. En el caso de los suelos migajosos, los valores resultan elevados y con asimetría. En cuanto a la variable concentración de calcio (Ca) resulta simétrica en suelos migajosos y asimétrica en suelos granulares, resultando igualmente mayor su concentración en suelos migajosos.

Se obtuvieron además los box plot (*diagrama de caja*) de cada una de las variables consideradas en el estudio (figuras 3 y 4). Estos gráficos reafirman lo ya señalado en el aparte de análisis descriptivo, donde se observó el nivel de simetría en los casos del pH y MO. De la misma manera, se destacan los valores fuera de rango para el fósforo y el potasio, en ambos por exceso (valores altos), presentándose para el potasio dos valores y en el fósforo uno solo. Tomando en cuenta los procesos geodinámicos que se llevan a cabo en la zona estudiada, se pueden explicar los valores fuera de rango obtenidos en los gráficos relacionados con P y K como consecuencia de la acumulación

y el arrastre selectivo de los materiales geológicos que se transportan, los valores más altos corresponden a las topografías más bajas (cuadro 2), caracterizadas como zonas de acumulación y donde el transporte de materiales se ve reducido, a pesar de la baja movilidad que presenta el P, su acumulación en las zonas deprimidas, posiblemente, se produzca por el arrastre junto al material rocoso y el suelo, que se desplazan desde los sitios más elevados.

En el caso del K, aunque su movilidad supera la del P, también se ve incrementada su cantidad por la acumulación de materiales ricos en minerales con altos contenidos de K (micas potásicas provenientes de la Formación Las Mercedes, cuya presencia es importante en la zona estudiada).

CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES

Las correlaciones encontradas (cuadro 5) fueron agrupadas en la forma siguiente: correlaciones altas positivas entre los contenidos de P y el pH ($r = 0,8232$); el contenido de K y el de MO ($r = 0,8325$), pH y Ca ($r = 0,7295$) y Mg con Ca ($r = 0,7061$). La correlación entre el P y el pH se explica porque los valores de pH oscilan entre 4,64 y 7,60 y es conocido que la disponibilidad del P en el suelo guarda una estrecha relación con el pH, siendo máxima cuando sus valores están comprendidos entre 5,5 y 7,5 (Casanova, 2005). En el caso de pH y Ca la correlación está determinada por el predominio de bases en el complejo de intercambio y en la solución del suelo para valores de pH cercanos a la neutralidad y alcalinos.

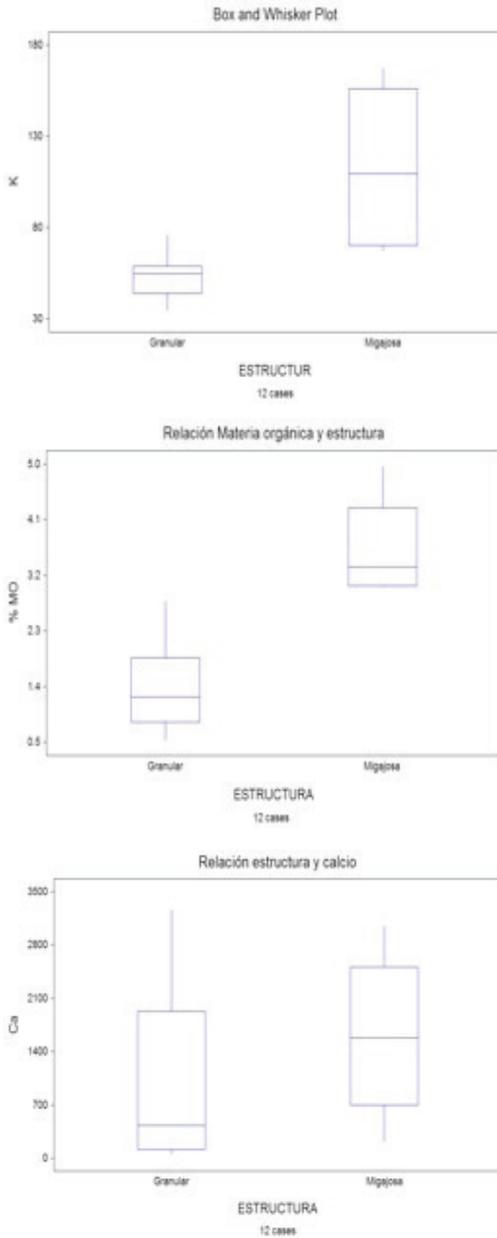
Para la correlación entre el Mg y el Ca se infiere la presencia conjunta de ambos elementos en los materiales parentales de los suelos y su comportamiento similar en el medio. Se encontraron correlaciones moderadas y positivas entre K y P ($r = 0,5786$) así como entre pH y Mg ($r = 0,5724$). También, se evidenciaron dos casos de correlación negativa, con valores bajos: entre las variables Na con P ($r = -0,1167$) y K y Na ($r = 0,0296$).

Cuadro 4.
Características Físicas de los suelos presentes en la cuenca del río Maracay

Ubicación	N°	Características físicas							
		Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textura	Estructura	Adhesividad	Cohesión	Plasticidad
Kilómetro 18. Vía Choroni	1	7,2	22,8	70,0	Fa	Granular	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	2	5,2	18,8	76,0	aF	Granular	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	3	11,2	18,8	70,0	Fa	Granular	Débilmente adhesivo	No Coherente	No Plástico
Agua El Castaño	4	3,2	24,8	72,0	Fa	Granular	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	5	5,2	34,8	60,0	Fa	Granular	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	6	6,4	30,6	63,0	Fa	Granular	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
Las Cocuizas	7	3,2	24,8	72,0	Fa	Granular	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	8	5,2	20,8	74,0	Fa	Migajosa	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	9	6	14,4	79,6	aF	Migajosa	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
UPEL Av. Las Delicias.	10	5,2	22,8	72,0	Fa	Migajosa	No adhesivo	No Coherente	No Plástico
	11	9,2	34,8	56,0	Fa	Granular	No adhesivo	Poco Coherente	No Plástico
	12	13,2	36,8	50	F	Migajosa	Débilmente adhesivo	Poco Coherente	Débilmente Plástico

Fuente: Ríos et al. (2010).

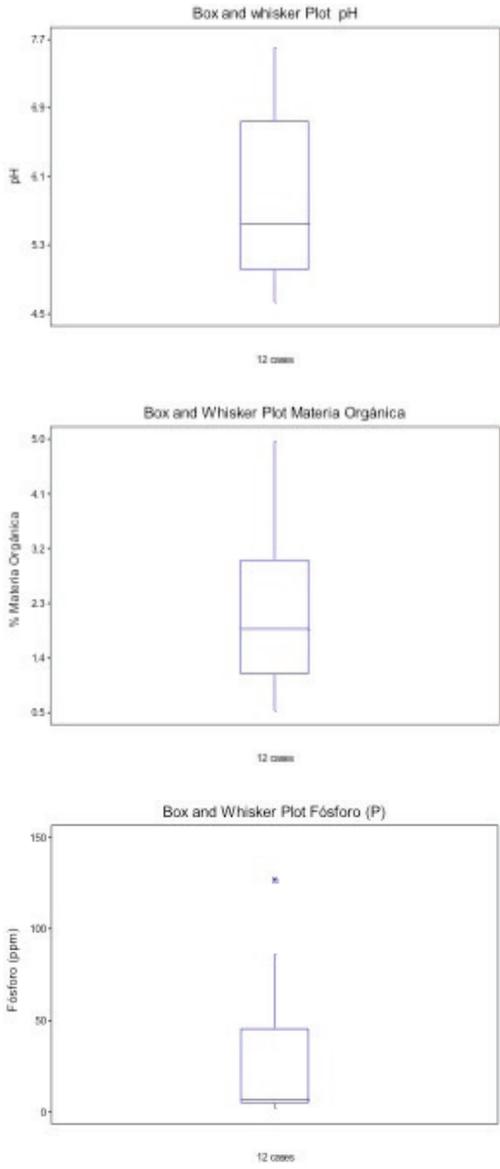
Figura 2.
Relación de algunas propiedades químicas con la estructura del suelo



Fuente: Propia

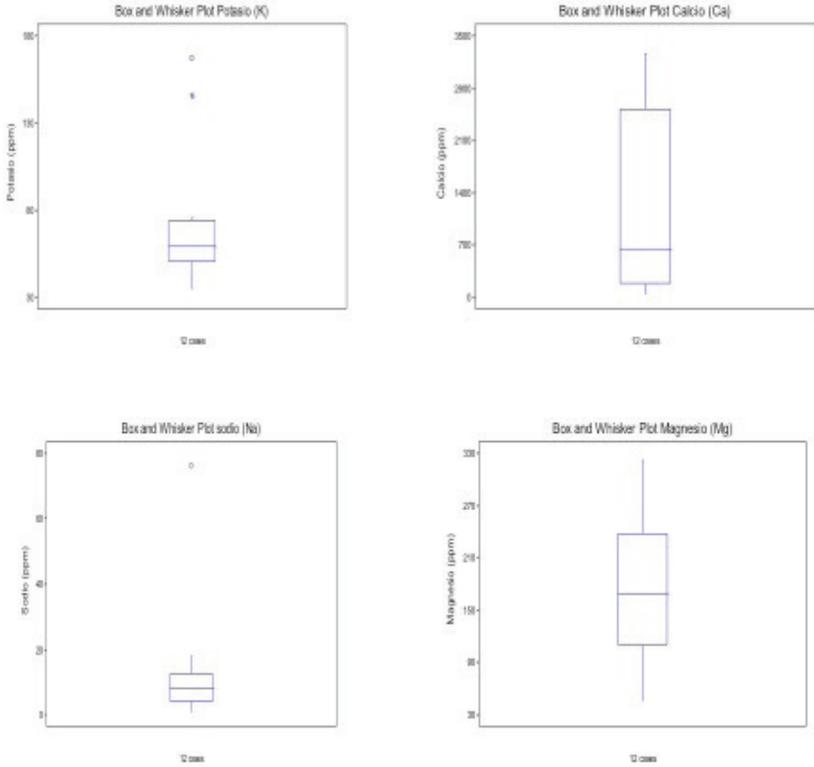
María M. Ríos Cabrera, Magaly Ruiz Dager, Rubén Maduro Rojas, Hugo García

Figura 3.
Diagramas de caja correspondientes al pH y al contenido de materia orgánica y fósforo en los suelos estudiados



Fuente: Propia

Figura 4.
Diagramas de caja correspondientes al contenido de potasio, calcio, sodio y magnesio en los suelos estudiados



Fuente: Propia

Cuadro 5.
Correlaciones (PEARSON) entre las propiedades químicas

	Ca	K	Mg	MO	Na	P
K	0,3045					
Mg	0,7061	0,4275				
MO	0,1661	0,8325	0,2758			
Na	0,0055	-0,0296	0,3622	0,1671		
P	0,6851	0,5786	0,4346	0,4328	-0,1167	
pH	0,7295	0,3381	0,5724	0,4128	0,1591	0,8232

Fuente: Cálculos propios

CONCLUSIONES

A través del estudio exploratorio realizado se logró una aproximación significativa de las propiedades químicas de los suelos de un sector importante de la cuenca del río Maracay, los cuales se caracterizan por presentar una variabilidad extremadamente alta de dichas propiedades. Los coeficientes de variación oscilaron entre 18 % y poco más del 100 %. El pH y el contenido de Magnesio, fueron las variables que presentaron los niveles menores de variabilidad.

En los suelos con estructura granular los valores correspondientes al porcentaje de materia orgánica, calcio y potasio, resultaron más bajos que en los suelos migajosos.

Se encontraron correlaciones altas positivas entre los contenidos de P y el pH; el contenido de K y el de MO, pH y contenido de Ca y entre los contenidos de Mg y Ca. La desaturación de bases en el complejo de intercambio de los sitios elevados de la toposecuencia, conlleva a la adsorción de elementos tóxicos para las plantas como el aluminio, asimismo, se promueve la formación de minerales secundarios del tipo 1:1, que tienden a poseer características poco plásticas ante la presencia de un determinado contenido de agua, lo cual hace a esos suelos susceptibles a deslizamientos superficiales y los transforma en un elemento de riesgo socionatural,

condición que puede agravarse con la intervención antrópica excesiva. De allí la importancia de profundizar en el estudio de la mineralogía de las arcillas, contenido y distribución del aluminio en el perfil, composición de la materia orgánica, entre otras variables químicas que podrían contribuir a la comprensión de la susceptibilidad de los materiales de sufrir fenómenos de transporte masivo, debido a la conjunción de una serie de factores que coadyuvan a la producción de deslizamientos.

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 tormentosos, 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J.M. y INGRAM, J. (1993). *Tropical soil Biology and fertility: A Handbook of methods*. CAB International. Wallingford, UK., 62 p.
- CASANOVA, E. (2005). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Caracas, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. CDCH. 425 p.
- ELIZALDE, G., ROSALES, A. y BASCONES, L. (1987). Aprender a convivir con la montaña. Catástrofe en la Cuenca del Río El Limón. *Carta Ecológica*. Revista Bimensual. Departamento de Relaciones Públicas de Lagoven, S.A., Filial de Petróleos de Venezuela. 39: 1-4.
- FELLER, C. y BEARE, M.H. (1997). Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79: 69–116.
- FERNÁNDEZ-BADILLO, A. y ULLOA, G. (1990). Fauna del Parque Nacional Henri Pittier, Venezuela: Composición y Diversidad de la Mastofauna. *Acta Científica Venezolana*, 41: 50-63.
- HASSINK, J. (1997). The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant Soil* 191: 77–87.
- HERNÁNDEZ, R. y GONZÁLEZ, M. (2006). *Estadística y metodología de investigación en ciencias*. Primera Edición. Trillas. México. 315 p.

- JASTROW, J. y MILLER, R. (1998). Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organo-mineral associations. En: Soil processes and the carbon cycle. Ed. by Lai R, Kimble J, Follett R, Stewart B. II. Series: *Advances in Soil Science*. Boca Raton, Fl. 33431. 207-223.
- OADES, J. (1984). Soil organic matter and structural stability, mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76: 319-337.
- OADES, J. y Waters, A. (1991). Aggregate hierarchy in soils. *Aus. J. Soil Res.* 29: 815-828.
- PORTA, J., LÓPEZ, M. y ROQUERO, C. (1999). *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda Edición. Madrid, España. 848 p.
- QUIRK, J. y MURRAY, R. (1991). Towards a model for soil structural behavior. *Aust. J. Soil Res.* 29: 829-867.
- RÍOS, M; RUIZ, M., MADURO, R. y GARCÍA, H. (2010). Estudio exploratorio de las propiedades físicas de suelos y su relación con deslizamientos superficiales: Cuenca del río Maracay, estado Aragua-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, Vol. 51(2), 225-247.
- RONDON DE R., C. y ELIZALDE, G. (1997). Estabilidad física y química de los microagregados de dos unidades de suelos evolucionados. *Agronomía Tropical*, 47(4):409-423.
- 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. *Libro de Resúmenes Jornadas de Investigación Facultad de Ingeniería*, JIFI 2000, Universidad Central de Venezuela, p. 613.
- STATISTIX for Windows version 8. *User's Manual. Analytical Software*. Tallahassee, FL, USA. (2003), pp. 333.
- TISDALL, J. y OADES, J. (1982). Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.

TORN, M.S., TRUMBORRE, S.E, CHADWICK, O.A., VITOUSEK, P.M. y HENDRICKS, D.M. (1997). Mineral control of soil organic carbon storage and turnover. *Nature* 389: 170-173.

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. (1993). *Cuadernos de Agronomía*. Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. Año 1, N° 6, 8-42.

MARÍA M. RÍOS CABRERA. Dra. en Educación. Docente Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). Instituto Pedagógico "Rafael Alberto Escobar Lara". Maracay. Coordinadora Núcleo de Investigación Ambiental con Fines Educativos (NIAFE).

E-mail: mariamagdarios@gmail.com

MAGALY RUIZ-DÁGER. Dra. en Ciencia del Suelo. Docente Universidad Rómulo Gallegos. (UNERG). Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA). Vía El Castrero, San Juan de los Morros, Estado Guárico.

E-mail: magaruizdager@gmail.com

RUBÉN MADURO ROJAS. MSc. Estadística. Docente Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). Instituto Pedagógico "Rafael Alberto Escobar Lara". Maracay. Línea de investigación: Didáctica de las Ciencias Naturales e Investigación Educativa. Departamento de Física.

E-mail: maduroruben@yahoo.com

HUGO GARCÍA. MSc. Estadística. Docente Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (UPEL). Instituto Pedagógico "Rafael Alberto Escobar Lara". Maracay. Línea de investigación: Didáctica de las Ciencias Naturales e Investigación Educativa. Departamento de Física

E-mail: hugogarcia@hotmail.com

