

# Condiciones hidrofísicas de suelos con alta saturación de magnesio en el Valle del Cauca, Colombia

A. Torrente T.,<sup>1</sup> A. García-Ocampo,<sup>2</sup> C. A. Escobar Ch.,<sup>2</sup>  
E. Amézquita C.,<sup>3</sup> T. J. Sampayo N.<sup>4</sup>

## COMPENDIO

En las planicies del Valle del Cauca existen 116.872 ha con dominio del ion  $Mg^{+2}$  en el complejo de cambio, especialmente asociadas con vertisoles, lo que ocasiona marcado efecto sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas. Se seleccionó un grupo de suelos (13) entre los municipios de Palmira y La Victoria en el departamento del Valle del Cauca, sobre dos posiciones de paisaje (planicie fluvio-lacustre y planicie aluvial de piedemonte) definidas mediante criterios de geomorfología y unidades taxonómicas. El reconocimiento y la caracterización de suelos con alta saturación de magnesio permitió determinar que son arcillosos (> 30%), muy plásticos y con altos COEL (> 0.09), inestables y con estructura débil o sin estructura (masivos), con alta densidad aparente en seco (> 1.7  $Mg.m^{-3}$ ) y baja porosidad total (< 35%), presentan cambios importantes de volumen (< 28%) y desarrollo de grietas con la pérdida de humedad. Tienen alta capacidad de retención de humedad, limitada disponibilidad de agua para las plantas, baja tasa de infiltración y conductividad hidráulica clasificada como lenta. Estas propiedades son más acentuadas en la posición fluvio lacustre del Valle del Cauca.

**Palabras claves:** Física de suelos, Salinidad de suelos, Suelos magnésicos.

## ABSTRACT

In the plains of the Cauca Valley 116.872 ha. exist there is with domain of the ion  $Mg^{+2}$  in the complex of change, specially associated with vertisols, what causes a marked effect on the physical properties of the soil and the growth of the plants. A group of 13 representative soils was selected on two landscape positions, fluvio-lacustrine plain and alluvial plain of foot mountain, defined by means of geomorphology and taxonomy units in the municipalities of Palmira and the Victoria in the department of the Cauca Valley. It was made the recognition and the characterization of the soils field and laboratory (mineralogy, chemistry and physics) to evaluate their characteristics and physical and hydrodynamic processes. The soils with high magnesium saturation in a general sense are characterized to be loamy (> 30%), very plastic and with high COEL (> 0.09), unstable and with weak structure or without structure (massive), with high bulk density in dry (> 1.7  $Mg.m^{-3}$ ) and low total porosity (< 35%), they present important changes in volume (< 28%) and development of cracks when dry. These soils also have high humidity retention capacity, limited water availability for plants, low infiltration rate and slow hydraulic conductivity. These properties are accentuated in the position fluvio - lacustrine of the Cauca Valley.

**Key words:** Vertisols, High magnesium saturation, Soil physics, Hydraulic Functions.

## INTRODUCCIÓN

Los suelos magnésicos se consideran una categoría especial de suelos afectados por sales y iones específicos que se caracterizan por alta saturación de magnesio en el complejo de cambio ( $PMgI > 40\%$ ) (Darab, 1994). En el mundo se han reconocido diferentes zonas de suelos con alta concentración de magnesio; en el valle del

río Cauca - Colombia, hay aproximadamente 116.872 hectáreas (Borrero *et al.*, 1998).

Borrero *et al.* (1998), trabajando con 2.500 perfiles de suelos del Valle del Cauca, clasificaron los suelos magnésicos en cinco tipos de acuerdo con las unidades de paisaje, teniendo como referencia la concentración y la relación entre los cationes más abundantes ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y  $Na^{+}$ ).

Según la relación entre los iones intercambiables  $Mg^{+2}/Ca^{+2}$ , cuando se examina el horizonte que subyace al A, los vertisoles se pueden clasificar como cálcico-magnésico (0.5 a 3), magnésico (3 a 10) o hipermagnésico (> 10) (Podwojewski, 1995).

La naturaleza del material parental, el clima, la edad del suelo y los factores antrópicos influyen en el

1. Estudiante del Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Profesor Titular, Universidad Surcolombiana.  
2. Ph.D. y M.Sc respectivamente. Profesores Asociados, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.  
3. Ph.D. Científico, Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT.  
4. M.Sc. Ingeniero Agrónomo, independiente.

contenido de  $Mg^{+2}$  del suelo. En algunos suelos arcillosos provenientes de materiales básicos, como la peridotita y la serpentina, el porcentaje de  $Mg^{+2}$  puede alcanzar valores superiores al 40%. El  $Mg^{+2}$  disponible para las plantas se encuentra en forma intercambiable e hidrosoluble en el suelo y la absorción depende de la cantidad presente, del grado de saturación de  $Mg^{+2}$ , de la naturaleza de los otros iones intercambiables y del tipo de arcilla (Tisdale y Nelson, 1975).

Algunos investigadores han encontrado que la alta saturación de  $Mg^{+2}$  tiene características dispersivas y que causa efectos adversos similares a los del  $Na^{+}$ , produciendo oclusión de poros y disminuyendo las propiedades de flujo de los suelos (García, 1994).

El estudio de los suelos con alta saturación de magnesio en Colombia se encuentra en la etapa de caracterización y reconocimiento de la génesis, de las relaciones iónicas y de intercambio. Existe especial interés en conocer la dinámica entre interfases y las condiciones físicas asociadas con la mineralogía y el contenido de humedad del suelo. El propósito es evaluar las características físicas e hidrodinámicas de suelos con alta saturación de magnesio intercambiable en el Valle del río Cauca, para proponer prácticas de manejo y sentar las bases para investigaciones futuras sobre el tema.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se localiza entre 930 y 1.038 m.s.n.m., temperatura media entre 24°C y 25°C, régimen pluvial bimodal con precipitación media anual entre 800 a 1.200 mm y evaporación media anual de 1.600 mm; la evaporación supera ampliamente la precipitación y requiere riego complementario para la eficiente producción agrícola.

Se seleccionó un grupo de trece suelos representativos ubicados sobre las planicies fluvio-lacustre (6) y aluvial de piedemonte (7), definidos mediante criterios de geomorfología y unidades taxonómicas entre los municipios de Palmira y La Victoria, localizados en el valle del río Cauca – Colombia (Figura 1).

Del grupo de suelos estudiados se evaluaron en detalle las propiedades físicas e hidrodinámicas de dos suelos magnésicos típicos: La Esperanza (*Typic Calciaquert*) y Argelia (*Typic Pellustert*).

El reconocimiento detallado del suelo permitió determinar las siguientes características físicas: estratigrafía, color, moteados y concreciones, textura y estructura, consistencia, profundidad efectiva, profundidad del nivel freático, presencia de raíces y organismos, y otras observaciones de interés (nódulos, pedotubulos, etc.). La Figura 2 presenta las etapas del proceso metodológico.



Figura 1. Localización de los suelos estudiados en el valle del río Cauca, Colombia.

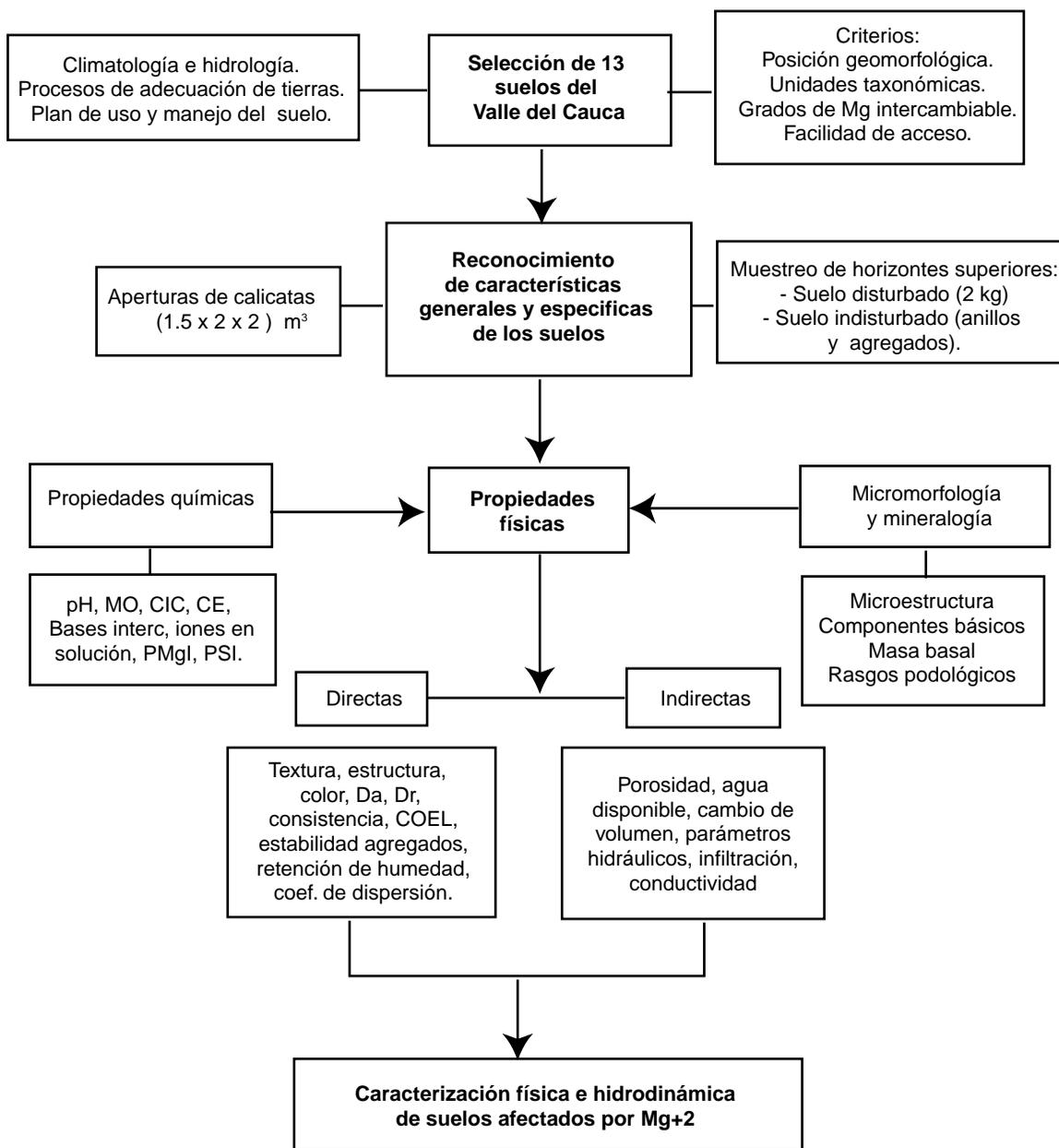


Figura 2. Etapas del proceso metodológico de la investigación.

Se analizaron la textura, la estabilidad de agregados, la densidad aparente y la densidad real, la consistencia, el coeficiente de extensibilidad lineal, el coeficiente de dispersión, la porosidad total y la porosidad de intraagregado, la retención de humedad y la velocidad de infiltración con anillos concéntricos según la metodología citada por Montenegro y Malagón (1990). Se midieron también los cambios de volumen en los procesos de expansión-contracción de los suelos en cilindros de volumen conocido.

La conductividad hidráulica superficial se determinó mediante la botella de goteo, instrumento ade-

cuado al tipo de suelos, ya que este método permitió observar y medir de manera sencilla el avance del bulbo de humedecimiento capilar y traducir éstos a densidad de flujo (Brooks y Corey, 1985). La conductividad hidráulica interna del suelo se midió con Permeámetro de Guelph.

Analizados los procesos físicos y de flujo en suelos con alta saturación de magnesio del valle del río Cauca, se definieron los siguientes criterios como válidos para su caracterización: textura, estructura y estabilidad estructural, índice de plasticidad, coeficiente de extensibilidad lineal (COEL) y cambio de volumen,

coeficiente de dispersión y retención de humedad volumétrica a 1.5 MPa, tasa de infiltración básica, conductividad hidráulica saturada y régimen de humedad. Además, se hizo el análisis químico y mineralógico para reconocer la composición iónica, la microestructura, los componentes básicos minerales y los rasgos pedológicos fundamentales de los suelos.

**RESULTADOS Y DISCUSION**

**Características minerales y químicas de los suelos**

El análisis mineralógico permitió concluir que existe potencialmente una fuente abundante de elementos mayores (Ca, Mg, Na y K) y menores (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni), como también de estructuras básicas para la síntesis de arcillas como vermiculita, esmectita, illita y clorita. Esta consideración se fundamenta en la presencia en grandes cantidades de especies minerales fácilmente alterables como plagioclasas, feldespatos, anfíboles y micas, ricas en componentes magnésicos.

La magnesificación de los suelos del valle del río Cauca se debe probablemente al proceso de acumulación de minerales y nutrientes ricos en magnesio en las zonas bajas de la planicie aluvial. Los resultados

confirman el efecto del material parental, arenas y arcillas, en los procesos de magnesificación y de salinización en estos suelos.

Las propiedades químicas están dadas principalmente por la naturaleza de las arcillas predominantes tipo 2:1 (esmectitas, vermiculitas, grupos integrados), las condiciones hidrológicas y climáticas reinantes en la zona, y los altos niveles freáticos que les confieren un régimen de humedad ácuico.

La dinámica del Ca y del Mg es muy importante en los suelos del valle del río Cauca, estos elementos están asociados con sulfatos, carbonatos-bicarbonatos y, en algunos casos, cloruros; los bicarbonatos son agentes relacionados con la migración de Ca.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) indicó la presencia de suelos ricos en bases intercambiables, con valores promedio de CIC superiores en la planicie fluvio-lacustre (32.4 cmol.kg<sup>-1</sup>) comparada con el piedemonte (22.7 cmol.kg<sup>-1</sup>), debido probablemente a la mayor concentración de bases intercambiables. En la solución del suelo de la planicie fluvio-lacustre predominaron los iones Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, mientras que en el piedemonte SO<sub>4</sub><sup>-</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Tablas 1 y 2).

**Tabla 1. Propiedades químicas de suelos de la planicie fluvio-lacustre con alta saturación de magnesio en el valle del río Cauca, Colombia.**

Suelo <i>Taxonomía</i>	Prof. (cm)	pH (1:1)	MO (%)	Text	cmol kg <sup>-1</sup>					% Saturación	
					CIC	Ca	Mg	Na	K	PMgI	PSI
Trinidad	0-30 Ap	8.4	1.6	Ar	35.2	10.9	25.8	5.09	0.90	73.3	14.5
<i>Typic Natraquert</i>	30-50 Bssg	8.6	1.0	Ar	32.9	5.27	27.3	6.90	0.77	83.0	21.0
Cabaña 3	0-25 Assg	5.8	2.6	Ar	35.6	17.8	15.9	1.82	0.70	44.8	5.1
<i>Typic Endoaquert</i>	25-54 Bssg	6.0	2.9	Ar	34.9	19.0	15.9	1.17	0.78	45.7	3.4
Cabaña 4	0-30 Assg	5.6	2.7	Ar	24.6	10.2	6.4	0.35	1.24	26.1	1.4
<i>Ustic Endoaquert</i>	30-45 Anssb	7.3	1.7	Ar	23.5	13.0	8.3	0.55	0.83	35.5	2.3
La Esperanza	0-22 A <sub>1</sub>	6.4	3.1	Ar	40.9	22.6	15.1	0.38	0.48	37.0	0.9
<i>Typic Calciaquert</i>	22-44 Bssk <sub>1</sub>	7.7	2.1	Ar	29.3	22.8	21.2	0.34	0.45	72.5	1.2
Argelia	0-10 Ass <sub>1</sub>	6.6	4.2	Ar	40.2	22.7	16.3	0.48	0.44	40.8	1.2
<i>Typic Pellustert</i>	10-30 Ass <sub>2</sub>	6.6	0.8	Ar	40.2	13.7	35.2	1.83	0.50	87.6	4.6
Cabaña-Rozo	0-25 Assg	8.8	1.5	Ar	24.5	9.45	8.46	11.53	0.69	34.5	47.0
<i>Typic Natraquert</i>	25-65 BAssg	9.2	0.6	Ar	30.3	7.32	11.1	17.21	0.76	36.5	56.8

El pH en los suelos salinos del Valle estuvo determinado por la dominancia de aniones como SO<sub>4</sub><sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>-</sup>. El ión SO<sub>4</sub><sup>-</sup> se mantiene en solución en presencia de los cationes alcalinos y alcalinotérreos; este ión se acompleja con el Na<sup>+</sup> y en menor intensidad con el Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup>; el SO<sub>4</sub><sup>-</sup> en condiciones de reducción común en los suelos hidromórficos se transforma en H<sub>2</sub>S provocando la disminución del pH, esto implica que la

alcalinidad del medio se tampona con la acidez causada por este ión.

En general, el contenido de materia orgánica en los suelos fue bajo, con valores inferiores al 2% y en algunas excepciones fue superior al 3%. Los suelos con mayor contenido de materia orgánica se encontraron con regímenes de humedad ácuico y údico, dominando los procesos de reducción (Tablas 1 y 2).

**Tabla 2. Propiedades químicas de suelos de la planicie aluvial de piedemonte con alta saturación de magnesio en el valle del río Cauca, Colombia.**

Suelo <i>Taxonomía</i>	Prof. (cm)	pH (1:1)	MO		cmol kg <sup>-1</sup>					% Saturación	
			(%)	Text	CIC	Ca	Mg	Na	K	PMgI	PSI
CI. Palmira	0-40 Ap	8.3	2.9	Ar	36.6	13.8	13.9	0.43	0.45	38.0	1.2
<i>Typic Haplustert</i>	40-60 AB	8.4	1.2	Ar	32.6	9.1	16.1	0.52	0.32	49.4	1.6
Villa Clara	0-20 Ap	8.2	1.1	ArL	12.7	8.15	3.40	0.53	0.60	26.8	4.2
<i>Typic Calcicustert</i>	20-40 Ass <sub>2</sub>	7.9	0.8	ArL	14.6	9.72	4.38	0.50	0.91	30.0	3.4
Paso Ancho	0-33 Ap	7.0	2.5	F	25.8	16.2	6.42	0.18	0.46	24.9	0.7
<i>Pachic Haplustoll</i>	33-62 Bw <sub>1</sub>	7.6	3.2	FL	18.4	12.2	6.20	0.70	0.19	33.7	3.8
Ceniuva	0-16 Ass <sub>1</sub>	6.3	2.8	Ar	16.8	11.64	11.33	0.91	0.10	67.4	5.4
<i>Typic Pellustert</i>	16-25 Ass <sub>2</sub>	6.2	2.1	Ar	19.7	11.83	11.91	0.49	0.06	60.5	2.5
Berginie	0-20 A <sub>1</sub>	6.9	2.1	FA	20.5	6.82	10.7	0.25	0.25	52.2	1.2
<i>Fluventic Ustropept</i>	20-50 A <sub>2</sub>	7.1	1.9	FA	21.8	10.95	10.4	0.32	0.25	47.7	1.5
CABAÑA 1	0-25 Ap	6.5	2.5	FArA	14.9	10.02	6.34	0.35	0.44	42.5	2.4
<i>Typic Ustropept</i>	25-48 Btk <sub>1</sub>	7.5	0.9	FA	19.9	11.51	9.02	0.87	0.50	45.3	4.4
CABAÑA 2	0-40 Ap	7.5	3.6	Ar	31.4	16.37	11.07	1.04	3.19	35.3	3.3
<i>Aquertic Argiudoll</i>	40-55 BA	7.4	2.1	Ar	31.1	15.65	11.10	0.85	2.65	35.7	2.7

MO: materia orgánica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, PMgI y PSI: porcentajes de Mg y Na intercambiable en el suelo respectivamente.

En estos suelos tienen lugar importantes procesos de expansión-contracción, además presentan tendencia al adensamiento natural, lo que en consecuencia disminuye la porosidad total; la plasticidad favorece los cambios de volumen con el secado, ejerciendo los altos niveles de magnesio intercambiable efecto específico sobre la consistencia y el adensamiento del suelo. Estas propiedades fueron más acentuadas en la posición fluvio-lacustre (Tablas 3 y 4, Figura 3).

Las características físicas de los suelos magnésicos estuvieron determinadas por su composición mineralógica y química, confiriéndole mayor o menor grado de consistencia, penetrabilidad, expansibilidad y capacidad para ser manipulados o sometidos a labores de mecanización según la cantidad y tipo de arcilla, los porcentajes de magnesio y sodio, y los niveles de humedad presente.

**Tabla 3. Propiedades físicas de suelos de la planicie fluvio-lacustre con alta saturación de magnesio en el valle del río Cauca, Colombia.**

Sitio <i>Taxonomía</i>	Prof. (cm)	Ar (%)	Da* Mg.m <sup>-3</sup>	Dr Mg.m <sup>-3</sup>	Poros (%)	IP (%)	COEL	DPM (mm)	CD	θ <sub>r</sub>
Trinidad	0-30	48.9	1.88	2.64	28.8	65.0	0.16	4.98	78.8	0.023
<i>Typic Natraquert</i>	30-50	80.9	1.88	2.67	29.6	73.8	0.16	5.73	75.4	0.028
Cabaña 3	0-25	72.3	1.75	2.51	30.3	31.2	0.17	1.45	70.2	0.094
<i>Typic Endoaquert</i>	25-54	57.2	1.78	2.55	30.2	32.9	0.17	1.02	85.6	0.079
Cabaña 4	0-30	54.5	1.71	2.55	32.9	22.4	0.11	1.13	55.1	0.040
<i>Ustic Endoaquert</i>	30-45	56.5	1.66	2.55	34.9	23.5	0.14	0.71	30.7	0.044
La Esperanza	0-22	44.5	1.81	2.57	29.6	31.1	0.18	0.80	15.5	0.071
<i>Typic Calciaquert</i>	22-44	80.5	1.83	2.55	28.2	29.8	0.18	1.38	3.46	0.071
Argelia	0-10	52.9	1.85	2.60	28.9	53.0	0.18	2.18	5.08	0.028
<i>Typic Pellustert</i>	10-30	68.3	1.86	2.57	27.6	57.9	0.20	2.68	1.33	0.087
Cabaña-Rozo	0-25	66.9	1.97	2.77	28.9	59.5	0.12	4.21	73.3	0.020
<i>Typic Natraquert</i>	25-65	56.9	1.86	2.55	27.1	64.5	0.23	2.68	81.8	0.033

\* Densidad aparente considerando volumen total con suelo seco a la estufa.

**Tabla 4. Propiedades físicas de suelos de la planicie aluvial de piedemonte con alta saturación de magnesio en el valle del río Cauca, Colombia.**

Sitio	Prof.	Ar	Da*	Dr	Poros	IP		DPM		
<i>Taxonomía</i>	(cm)	(%)	Mg.m <sup>-3</sup>	Mg.m <sup>-3</sup>	(%)	(%)	COEL	(mm)	CD	$\theta_r$
C.I. Palmira	0-40	48.9	1.76	2.50	29.6	34.7	0.13	2.20	49.0	0.027
<i>Typic Haplustert</i>	40-60	42.9	1.79	2.52	29.0	30.7	0.11	1.65	45.4	0.025
Villa Clara	0-20	46.9	1.72	2.63	34.6	18.3	0.10	1.98	1.74	0.020
<i>Typic Calcistert</i>	20-40	50.9	1.78	2.71	34.3	20.6	0.10	2.38	1.66	0.056
Pasoancho	0-33	20.9	1.69	2.76	41.7	20.7	0.05	2.22	11.5	0.014
<i>Pachic Haplustoll</i>	33-62	16.3	1.61	2.72	37.9	np	-	4.92	8.2	0.014
Ceniuva	0-16	54.9	1.97	2.70	27.0	28.7	0.13	0.82	6.63	0.017
<i>Typic Pellustert</i>	16-25	58.9	1.96	2.65	26.1	26.4	0.11	1.64	4.22	0.026
Berginie	0-20	18.5	1.80	2.62	31.6	14.2	0.05	1.65	17.8	0.032
<i>Fluventic Ustropept</i>	20-50	14.5	1.72	2.65	35.1	7.55	0.03	0.89	11.4	0.030
Cabaña 1	0-25	22.5	1.77	2.66	33.5	12.5	0.05	4.95	14.1	0.027
<i>Typic Ustropept</i>	25-48	18.5	1.81	2.55	29.0	16.9	0.03	1.11	18.6	0.029
Cabaña 2	0-40	52.5	1.70	2.55	33.3	33.0	0.15	1.45	67.9	0.056
<i>Aquertic Argiudoll</i>	40-55	56.5	1.80	2.53	28.9	31.1	0.15	0.94	94.3	0.049

\* Densidad aparente considerando volumen total con suelo seco a la estufa.

a



b



**Figura 3. Apariencia de suelos con alta saturación de magnesio en el Valle del Cauca, Colombia, a) agrietamientos con el secado natural, b) apiñamiento por dispersión de coloides (peptización) y deterioro estructural, se detallan las concreciones como inclusiones en la masa de suelo.**

Las observaciones anteriores coinciden con Van Olphen, 1963, quien afirma que la expansión de los suelos arcillosos depende ante todo de la composición mineralógica y de los cationes de cambio, teniendo las arcillas más expansibles Na<sup>+</sup> o Mg<sup>+2</sup> como catión de cambio.

### Caracterización hidráulica y condiciones hidrodinámicas de los suelos

La posición fisiográfica permitió observar ligeras diferencias en el movimiento vertical del agua, y la alta concentración de Mg<sup>2+</sup> en el suelo tuvo efecto marcado sobre la velocidad de infiltración y la conductividad hidráulica superficial e interna de éstos, especialmente cuando se desarrollan en ambientes hidromórficos.

La conductividad hidráulica interna presentó correlación lineal con el contenido de arena ( $r = 0.92$ ) y el PMgI ( $r = -0.88$ ), esto muestra que la presencia de la fracción gruesa del suelo facilita el movimiento del agua y que además la dispersión de los coloides por magnesio ejerce influencia sobre los procesos de flujo hídrico.

Según las características de los suelos magnésicos seleccionados, la porosidad total y la macroporosidad en Intraagregados (verificada en porosímetro de mercurio) fue muy baja, y como consecuencia la velocidad de infiltración y la conductividad hidráulica se clasificaron como lentas (Tabla 5).

**Tabla 5. Comparación de propiedades físico-químicas básicas y condiciones hidrodinámicas de suelos magnésicos representativos del valle del río Cauca.**

Sitio Taxonomía	Porosidad (%)		PMgI	PSI	I <sub>b</sub> (cm.h <sup>-1</sup> )	k <sub>s</sub> (cm.h <sup>-1</sup> )	φ <sub>m</sub> *10 <sup>-2</sup> (cm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	S (cm.s <sup>-0.5</sup> )	ha (cm)
	Total	Macro							
La Esperanza			37.0	0.9					
Typic Calciaquert	2.37	0	72.5	1.2	0.34 L	0.18 L	0.012	0.084	27.7
Argelia			40.8	1.2					
Typic Pellustert	1.04	0.05	87.6	4.6	1.18 ML	0.10 L	0.038	0.025	18.5

Porosidad en porosímetro de Hg, I<sub>b</sub> Infiltración básica, k<sub>s</sub> conductividad hidráulica saturada.

φ<sub>m</sub> potencial de flujo matricial; S: sortividad; ha: presión de entrada de aire al suelo.

L: lenta; ML: moderadamente lenta.

La capacidad del medio poroso para absorber agua representada por la sortividad (S) fue muy baja. La presión de burbujeo (ha), definida como la entrada de aire al suelo, mostró impedimento para el movimiento y la difusión del aire y los gases (Tabla 5).

La humedad residual (θ<sub>r</sub>) de los suelos, media a alta, implica grandes fuerzas de retención de humedad como consecuencia de la constitución mineral rica en arcillas esmectíticas, que le confieren al suelo gran hidratabilidad (Tabla 6).

La distribución del tamaño de poros (λ) es baja si se compara con Van Genuchten *et al.* (1991), obtenidos en suelos de Baja California (λ = 1.896). El parámetro hidráulico (a) fue similar al promedio registrado por Rawls *et al.* (1982), para la clase textural arcillosa de un grupo de 900 suelos seleccionados de un área extensiva de los Estados Unidos, cuya conductividad hidráulica saturada promedio no superó el valor de 0.6 cm.h<sup>-1</sup> (Tabla 6).

**Tabla 6. Parámetros hidráulicos de suelos magnésicos representativos del valle del río Cauca.**

Sitio Taxonomía		θ <sub>r</sub>	θ <sub>s</sub>	α	n	m*	λ	SSQ *10 <sup>-5</sup>	R <sup>2</sup>
		(cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	(cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	(cm <sup>-1</sup> )					
La Esperanza									
Typic Calciaquert	X <sub>m</sub>	0.119	0.624	0.036	1.078	0.072	0.077	43	0.985
	Sx <sup>2</sup>	3.15x10 <sup>-2</sup>	8.2x10 <sup>-1</sup>	10.8x10 <sup>-2</sup>	1x10 <sup>-3</sup>				
	CCV(%)	1.49	1.45	9.14	9.77				
Argelia									
Typic Pellustert	X <sub>m</sub>	0.041	0.573	0.054	1.118	0.105	0.117	126	0.996
	Sx <sup>2</sup>	8.82	4.7x10 <sup>-1</sup>	5.3x10 <sup>-3</sup>	3.6x10 <sup>-3</sup>				
	CV(%)	72.48	8.24	1.35	5.37				

θ<sub>r</sub>: Humedad residual, θ<sub>s</sub>: Humedad de saturación, α: parámetro hidráulico, \*m: calculado a partir de valores ajustados de n, λ: Parámetro de distribución de tamaño de poros.

SSQ: Suma de cuadrados de los valores ajustados versus los contenidos de agua observados.

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación.

En general, los parámetros hidráulicos para los suelos analizados correspondieron a los grupos texturales franco a arcilloso según valores promedios dados por Carsel y Parrish (1988), y es el parámetro de forma de la curva de retención (n), similar al grupo textural definido por la clasificación USDA para suelos arcillosos de los Estados Unidos, cuya conductividad hidráulica saturada no superó el valor de 0.2 cm.h<sup>-1</sup>. Los ajustes de las láminas de agua causadas por los gradientes gravitacional y matricial fueron leves y son los responsables del flujo en un ins-

tante dado; el potencial osmótico no presentó influencia sobre el movimiento de agua en estos suelos (Tabla 6).

El factor de forma (n) de los suelos magnésicos se encontró en el rango 1.0 a 1.2, correspondiente a textura fina (Van Genuchten *et al.*, 1991); esto significa que las curvas de tensión tendieron a ser planas, y que probablemente existe fuerte retención de la película de agua adyacente a la fracción mineral, restringiendo el flujo libre y la absorción de agua por el sistema radical de las plantas (Tabla 6).

Al desarrollar las funciones hidráulicas (Tabla 7) se presentaron flujos superficiales e internos de lentos a muy lentos, y alta retención de humedad en los

suelos, confirmando las observaciones de campo y laboratorio respecto a las condiciones hidrodinámicas de éstos.

**Tabla 7. Funciones hidráulicas de suelos magnésicos representativos del valle del río Cauca.**

Sitio <i>Taxonomia</i>	Tasa de Infiltración <i>I (cm.h<sup>-1</sup>)</i>	Conductividad hidráulica <i>K (h) (cm.día<sup>-1</sup>)</i>	Retención de humedad <i>S<sub>e</sub> = (θ - θ<sub>r</sub> / θ<sub>s</sub> - θ<sub>r</sub>)</i>
La Esperanza <i>Typic Calciaquert</i>	$= 19.2 t^{-0.67} + 0.34$	$= 0.77 e^{0.036.h}$	$= 1/[ (1+ 0.036.h)^{1.078} ]^{0.072}$
Argelia <i>Typic Pellustert</i>	$= 19.0 t^{-0.49} + 1.18$	$= 0.93 e^{0.054.h}$	$= 1/[ (1+ 0.054.h)^{1.118} ]^{0.105}$

K(h): conductividad hidráulica insaturada, h: potencial mátrico, Se: Grado de saturación efectiva del suelo.

El flujo restringido de agua se verificó por la escasa existencia de macroporos en los suelos, y los leves movimientos de las láminas de agua fueron probablemente producto de altos gradientes de potencial hídrico. El incremento del grado de saturación de Mg<sup>+2</sup> estuvo estrechamente asociado con las deficientes propiedades físicas de estos suelos.

**Pautas de manejo de los suelos magnésicos**

La aplicación de riego, las prácticas de drenaje y la fertilización generalmente nitrogenada constituyen condiciones requeridas de manejo para su óptima utilización; estos suelos necesitan prácticas de mecanización controladas en condiciones de humedad superior a 15 bares de tensión, respondiendo satisfactoriamente a labores de subsolado profundo y al manejo gradual con una agricultura de baja tecnología.

Las prácticas de manejo de los suelos deben estar dirigidas a incrementar la tasa de infiltración, reducir la erosión potencial y al uso racional del agua, recomendándose para este caso el sistema de aspersión mediana o ligera. Debe examinarse el tipo de fertilización y sugerir el uso de fuentes poco móviles y estables en el suelo, en lo posible sin contenidos de Mg<sup>+2</sup>, evitando la pérdida de nutrientes. Se debe estudiar la calidad del agua de riego porque ésta participa de los procesos de adición y acumulación de sales y iones específicos al suelo.

Debe considerarse la adición de materiales orgánicos (cachaza, gallinaza, cascarilla de arroz y residuos de cosechas) para mejorar la aireación de estos suelos, incrementar el movimiento del agua y facilitar el desplazamiento del Mg<sup>+2</sup> y del Na<sup>+</sup>.

En las labores de recuperación de los suelos magnésicos se recomiendan prácticas similares a aquellos suelos afectados por sodio, como son la aplicación

de enmiendas al suelo y el lavado, y es posible el establecimiento del cultivo de arroz para estos propósitos.

**CONCLUSIONES**

Los suelos con alta saturación de magnesio en el valle del río Cauca presentaron:

- Características físicas sujetas a la composición mineralógica y química, a la posición geomorfológica y a la variabilidad climática. Estas características naturales explican la génesis, disponibilidad y distribución de los porcentajes de Mg<sup>+2</sup> y sus relaciones con la dinámica física del suelo.
- Cambios importantes de volumen, aproximadamente del 28%, durante los ciclos de secado-humedecimiento, lo que indica que poseen características físicas dinámicas y alterables en condiciones naturales.
- Las siguientes propiedades físicas: alto porcentaje de arcilla (> 30%) con preferencia en arcillas 2:1, inestabilidad estructural en el agua y escasa agregación, rigidez en seco y muy blando en húmedo, dominancia de fenómenos vérticos (COEL > 0.09), alta plasticidad (IP > 20%), alta densidad aparente en seco (> 1.7 Mg.m<sup>-3</sup>), baja porosidad total (< 35%), alta capacidad de retención de humedad, (θ<sub>0.03 MPa</sub> > 0.40 cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>), el drenaje natural fue imperfecto, lentos el externo e interno y con impedimento para alcanzar el punto de saturación.
- Existe fuerte interacción entre el ión Mg<sup>+2</sup> y las moléculas de agua asociadas con las láminas de silicato de la fracción arcillosa tipo 2:1, especialmente esmectitas y vermiculitas dominantes y comunes en los suelos de la planicie aluvial del valle del río Cauca que forman compuestos de alta hidratabilidad y modifican constantemente sus propiedades físicas en condiciones de hidromorfismo.

- Estructura débil con tendencia a masivo conformando un reducido espacio poroso por la acción del ión  $Mg^{+2}$  en la reorientación de láminas de arcilla por fuerzas iónicas y covalentes.
- La porosidad total fue muy baja como consecuencia de los efectos dispersivos del  $Mg^{+2}$  sobre la fracción coloidal, constituyendo especialmente microporos, y la velocidad de infiltración y la conductividad hidráulica son lenta y muy lenta respectivamente.

#### AGRADECIMIENTOS

A Colciencias por el apoyo financiero; a la Universidad Surcolombiana; Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira; CIAT y Corpoica - Palmira, por su apoyo institucional.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Borrero, J; García, A. y Gómez, C.A. 1998. Suelos afectados por magnesio en el valle del río Cauca. *Suelos Ecuatoriales*. Vol. 28. p.104.
- Brooks, R.H. and Corey, A.T. 1985. Hydraulic properties of porous media. Hydrol. Pap. no. 3. Colorado State Univ., Fort Collins, Co.
- Carsel, R.F. and Parrish, R.S. 1988. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resour. Res.* 24:755-769.
- Darab, K. 1994. Magnesium in salt affected soils. *Agrokemia es Talajtan*. Vol. 43. (1-2): 133-158.
- García O., A. 1994. Diagnóstico y control de la fertilidad en suelos afectados por sales y sodio. Fertilidad de suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Santafé de Bogotá. p.469-505.
- González, A. y García, A. 2002. Efecto de la aplicación de aguas bicarbonatadas sobre las propiedades físicas de suelos de Colombia. Conferencia presentada en el Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo. Tailandia, 14-21 de agosto de 2002.
- Montenegro, H., y Malagón, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá: IGAC. 813 p.
- Podwojewski, P. 1995. The occurrence and interpretation of carbonate and sulfate minerals in a sequence of Vertisols in New Caledonia. 65:223-248.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L. and Saxton, K.E. 1982. Estimating soil water properties. *Trans ASAE*, 25(5):1316-1320 and 1328.
- Tisdale S., Nelson W. 1975. Soil fertility and fertilizers. New York. 694p.
- Van Genuchten, M. Th., Leij, F.J. and Yates, S.R. 1991. The RETC Code for quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. U.S. Department of Agriculture, 85 p.
- Van Olphen, H. 1963. An introduction to clay colloid chemistry. New York: interscience Pub.