

## Condiciones Físicas e Hidrodinámicas de Suelos Magnésicos en el Valle del Cauca, Colombia

Armando Torrente Trujillo. Ing. Agrícola. Ph.D. Profesor Titular. USCO.

Álvaro García-Ocampo. Ph. D. Profesor Asociado a la Universidad Nacional, Sede Palmira.

Edgar Amézquita Collazos. Ph. D. Científico. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Carlos Alberto Escobar Chalarca. Ing. Agrícola. M.Sc. Profesor Asociado a la Universidad Nacional, Sede Palmira.

Tomás José Sampayo Noguera. Ing. Agrónomo. M.Sc.

### Resumen

**E**n el Valle del Cauca existe 116.872 ha de suelos con dominio de ión  $Mg^{2+}$  en el complejo de cambio, especialmente asociados con vertisoles, lo que ocasiona un marcado efecto sobre las propiedades del suelo y las plantas. El propósito fue caracterizar y evaluar los suelos magnésicos al movimiento y la retención de humedad.

Los suelos magnésicos de manera general se caracterizan por ser arcillosos (> 30%), muy plásticos con altos COEL (> 0.09), inestables y sin estructura (masivos) con alta densidad aparente en seco ( $D_a > 1.7 \text{ Mg/m}^3$ ) y baja porosidad total (< 35%), presentan cambios importantes de volumen y grietas a medida que se pierde humedad. Estos suelos también tienen alta retención de humedad, limitada disponibilidad de agua para las plantas, baja tasa de infiltración y muy lenta conductividad hidráulica.

**Palabras Claves:** Propiedades físicas de suelos, Suelos salinos, Suelos magnésicos.

### Abstract

In the Cauca Valley it exists 116.872 ha of soils with domain of ion  $Mg^{+2}$  in the complex of change, specially associated with vertisols, what causes a marked effect on the properties of the soils and the plants. The purpose was to evaluate and characterize the Soils Magnesium to the conditions movement and the withholding humidity.

The physical properties of soils with high saturation of  $Mg^{2+}$  in general way are: loamy (> 30%), very plastic with high COEL (> 0.09), instability and without structure (massive), with high bulk density in dry ( $D_a > 1.7 \text{ Mg. m}^{-3}$ ) and low porosity total (< 35%), high dispersion coefficients and high residual humidity, with important changes of volume and presence of cracks as gets lost humidity. This soils are characterized from the hydric when point to have high capacity of withholding humidity, limited readiness of water for the plants, low infiltration capacity and very slow hydraulic conductivity.

## Introducción

Los suelos magnésicos se consideran una categoría especial de suelos afectados por sales e iones específicos que se caracterizan por la alta saturación de este mineral en el complejo de cambio ( $PMgI > 40\%$ ) (Darab, 1994).

La naturaleza del material parental, el clima, la edad del suelo y los factores antrópicos influyen en la composición 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 en el suelo se encuentra en forma intercambiable e hidrosoluble y su 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 en los suelos (García, 1994).

El estudio de suelos magnésicos en Colombia se encuentra en la etapa de caracterización y entendimiento de la génesis, de las relaciones iónicas y de intercambio. Existe especial interés en conocer la interacción entre las fases y los fenómenos físicos asociados con la mineralogía y los contenidos de humedad del suelo.

El propósito fue evaluar las características físicas relacionadas con las condiciones de retención y movimiento de agua de un conjunto de suelos magnésicos ubicados en el valle del río Cauca con miras a la aplicación de prácticas de manejo y orientar los estudios futuros.

## Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la planicie del Río Cauca entre 930 y 1038 msnm, temperatura media  $25^{\circ}C$ , precipitación media anual entre 800 a 1200 mm caracterizado por régimen pluviométrico bimodal, evaporación media anual de 1600 mm, la evaporación supera ampliamente la precipitación siendo necesaria la aplicación de riegos suplementarios para la eficiente producción agrícola.

Se seleccionó un conjunto de suelos representativos según criterios de geomorfología y unidades taxonómicas entre los municipios de Palmira y la Victoria en el Valle del Río Cauca- Colombia, sobre la planicie fluvio-lacustre y planicie aluvial de piedemonte (ver figura 1). Se presentan las etapas del proceso metodológico en la figura 2.

El reconocimiento detallado de los perfiles estratigráficos permitió determinar en campo y laboratorio las características físicas e hidrodinámicas de los suelos seleccionados. Se usó la Botella de goteo como instrumento adecuado al tipo de suelos, ya que éste permitió observar y medir de manera sencilla el avance del bulbo de humedecimiento capilar y traducir estos a densidad de flujo y conductividad hidráulica superficial (Brooks & Corey, 1985). Además, se examinó la microestructura de los suelos para conocer la microestructura, los componentes básicos minerales, la masa basal y los rasgos pedológicos.

Siguiendo los procedimientos anteriores se definieron los criterios para la caracterización de los suelos, así: En laboratorio se determinó textura, estabilidad estructural, índice de plasticidad, coeficiente de extensibilidad lineal (COEL), coeficiente de dispersión y retención de humedad volumétrica a 1.5 MPa. En campo se determinó estructura, conductividad hidráulica saturada, tasa de infiltración básica, régimen de humedad, nivel de agrietamiento y cambio de volumen.

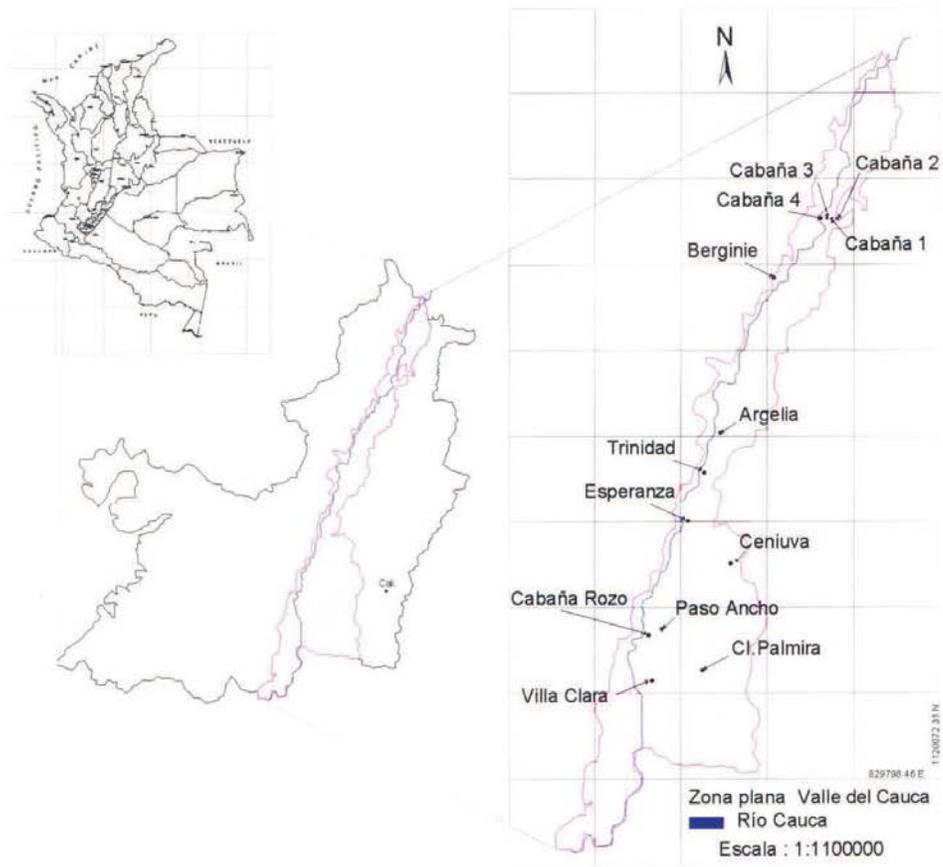


Figura 1. Localización de los Suelos Estudiados en el Valle del Rio Cauca, Colombia.

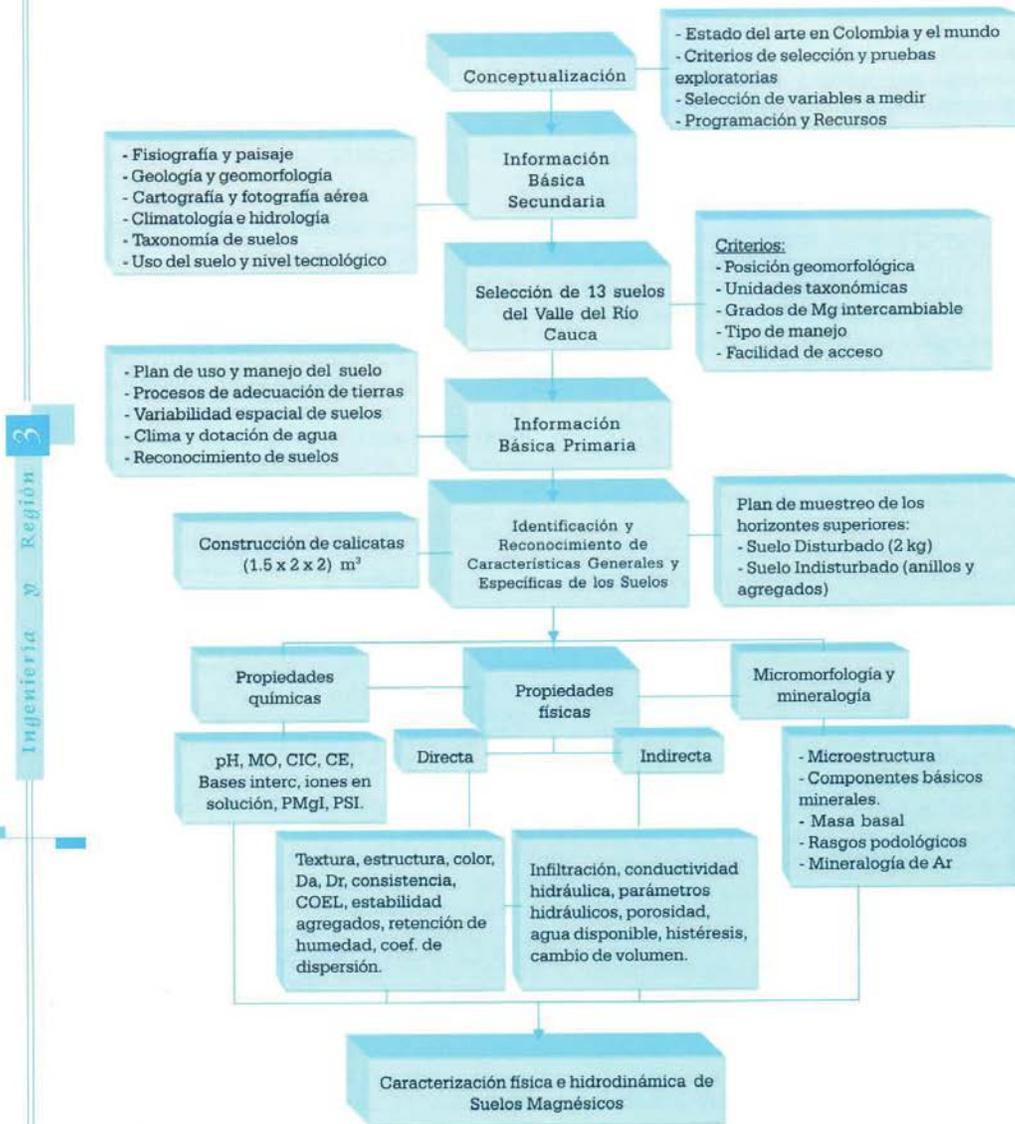


Figura 2. Esquema Metodológico de la Investigación.

## Resultados y Discusión

### Características Mineralógicas de los Suelos

Los minerales de la planicie aluvial del Río Cauca son potencialmente una fuente excelente 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 de abundantes 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 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 salinización en los suelos de la planicie.

### Características Químicas de los Suelos

Las propiedades químicas de estos suelos están dadas por la naturaleza de las arcillas predominantes tipo 2:1 (esmectitas, vermiculitas y grupos integrados), por las condiciones hidrológicas y climáticas reinantes en la zona, y los altos niveles freáticos que confieren al suelo un régimen de humedad ácuico. La dinámica del Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y del Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) es muy importante en los procesos de formación y evolución de los suelos del Valle del Río Cauca, estos elementos están asociados con sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y, en algunos casos, cloruros.

Los bicarbonatos son considerados importantes agentes para la migración de Ca.



Foto 1. Carbonatos Sobre la Superficie (Concreciones Blancas).

La Capacidad de Intercambio Catiónico, (CIC) de los suelos, presentó valores altos, significando suelos ricos en bases intercambiables; ésta propiedad es superior en los suelos de la planicie fluvio-lacustre ( $\text{CIC} = 32.4 \text{ cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$ )\* comparada con el piedemonte ( $\text{CIC} = 22.7 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ )\*, debido a los procesos de acumulación de bases intercambiables en presencia de mayor concentración de arcillas en las áreas bajas.

El  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable extraído con la metodología tradicional resultó alto, siendo éste no confiable debido a la importante dilución de las concreciones de carbonatos de Calcio, comunes en estos suelos. El porcentaje de Magnesio intercambiable (PMgI) es superior al 35% y unos pocos suelos adicionalmente presentaron alto porcentaje de Sodio intercambiable ( $\text{PSI} > 15\%$ ) confiriendo mayor alcalinidad. De manera general, en la solución del suelo predominan los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ .

El contenido de materia orgánica en los suelos es bajo con valores inferiores al 3%, el mayor contenido de materia orgánica se encuentra bajo regímenes de humedad ácuico y údico dominando los procesos de reducción. El pH está determinado por la presencia de iones  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Na}^+$ , resultando un rango de suelos entre ligeramente ácidos a muy alcalinos. El  $\text{SO}_4^{2-}$  se mantiene en solución en presencia de cationes alcalinos y alcalinoterreos, este ión se acompleja con el  $\text{Na}^+$  y con menor intensidad con el  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ . El  $\text{SO}_4^{2-}$  en condiciones de reducción es común en los suelos hidromórficos y se transforma en  $\text{H}_2\text{S}$  provocando la disminución del pH, esto implica que la alcalinidad del medio es tamponada por la acidéz causada por este ión.

### Propiedades Físicas de los Suelos

Los suelos son muy arcillosos ( $\text{Ar} = 59.1\%$ )\*, lo que permite clasificar su textura como fina a muy fina. La densidad aparente en estado seco es muy alta ( $\text{Da} = 1.83 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )\* y en consecuencia la porosidad total es baja ( $\eta = 29.5\%$ )\*; en general son muy plásticos ( $\text{IP} = 45.3\%$ )\* y muy expandibles ( $\text{COEL} = 0.17$ )\* a causa de su

*Condiciones Físicas e Hidrodinámicas de Suelos Magnésicos en el Valle del Cauca, Colombia*

composición rica en minerales 2:1 (vermiculita, esmectitas y grupos integrados) con alta saturación de  $Mg^{+2}$ , estando sujetos a importantes cambios de volumen con la ganancia o pérdida de humedad, siendo altamente susceptibles a la dispersión ( $CD=41.5$ )\*. Las escasas estructuras que se forman son moderadamente estables en el agua ( $DPM = 2.36 \text{ mm}$ )\*, propiedades adquiridas por el efecto de iones altamente hidratables como el  $Mg^{2+}$  y el  $Na^+$  sobre arcillas expandibles con alta humedad residual ( $\theta_r = 0.054$ )\*.

En la tabla 1 se presentan las propiedades físicas de seis (6) suelos magnésicos.

Estos suelos están expuestos a procesos de expansión-contracción durante el año con tendencia a la compactación natural, lo que en consecuencia disminuye su porosidad total, restringiendo los procesos de flujo de agua y aire; su plasticidad facilita los cambios de volumen con el secado, ejerciendo los altos niveles de  $Mg^{+2}$  intercambiable un efecto específico sobre la plasticidad y densidad del suelo (ver figura 3).

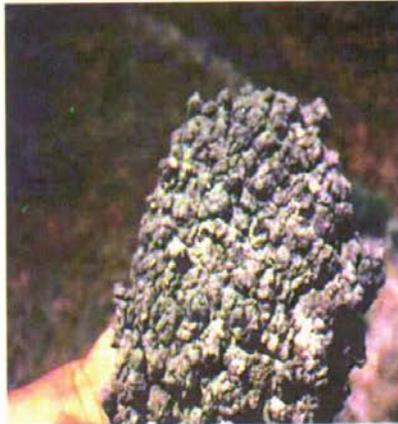


Foto 2. Apilamiento por Dispersión de Coloides (Peptización), se Detallan Claramente las Concreciones como Inclusiones en la Masa de Suelo.



Foto 3. Agrietamientos con el Secado Natural.

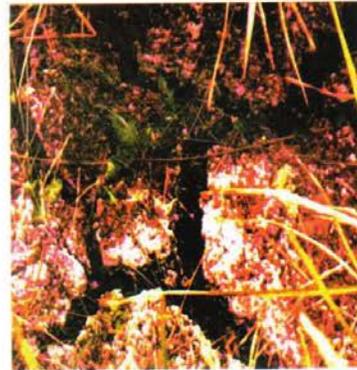


Foto 4. Acercamiento de Agrietamientos.

\* Los valores en paréntesis corresponden a valores promedios de  $CIC$ ,  $A_r$ ,  $D_a$ ,  $\eta$ ,  $IP$ ,  $COEL$ ,  $CD$ ,  $DPM$ ,  $\theta_r$ ,  $I$  y  $K$ , son el la capacidad de intercambio catiónico, el porcentaje de arcilla, la densidad aparente, la porosidad, el índice de plasticidad, el coeficiente de extensibilidad, el coeficiente de dispersión, el diámetro ponderado medio, la humedad residual, tasa de infiltración y la conductividad hidráulica saturada del suelo respectivamente.

Tabla 1. Propiedades Físicas de Suelos Magnésicos del Valle del Río Cauca, Colombia.

SITIO	Prof. (cm)	Ar (%)	Da Mg.m <sup>-3</sup>	Dr Mg.m <sup>-3</sup>	Poros (%)	IP (%)	COEL	DPM (mm)	CD
CABAÑA-ROZO	0-25	66.9	1.97	2.77	28.9	59.5	0.12	4.21	73.3
	25-65	56.9	1.86	2.55	27.1	64.5	0.23	2.68	81.8
LA ESPERANZA	0 - 22	44.5	1.81	2.57	29.6	31.1	0.18	0.80	15.5
	22 - 44	80.5	1.83	2.55	28.2	29.8	0.18	1.38	3.46
TRINIDAD	44 - 80	40.9	1.92	2.59	25.9	39.8	0.20	2.34	1.06
	0 - 30	48.9	1.88	2.64	28.8	65.0	0.16	4.98	78.8
ARGELIA	30 - 50	80.9	1.88	2.67	29.6	73.8	0.16	4.73	75.4
	0 - 10	52.9	1.85	2.60	28.9	53.0	0.18	2.18	5.08
CABAÑA 3	10 - 30	68.3	1.86	2.57	27.6	57.9	0.20	2.68	1.33
	30 - 60	46.0	1.86	2.68	30.6	50.9	0.19	2.82	4.21
CABAÑA 4	0 - 25	72.3	1.75	2.51	30.3	31.2	0.17	1.45	70.2
	25 - 54	57.2	1.78	2.55	30.2	32.9	0.17	1.02	85.6
CABAÑA 4	0 - 30	54.5	1.71	2.55	32.9	22.4	0.11	1.13	55.1
	30 - 45	56.5	1.66	2.55	34.9	23.5	0.14	0.71	30.7

A, arcilla, Da y Dr densidad aparente y densidad real respectivamente, la porosidad total = 1 - (Da / Dr), IP índice de plasticidad, COEL coef. de expansibilidad lineal, DPM diámetro ponderado medio, CD coef. de dispersión.

Las características físicas de los suelos magnésicos están sujetas a su composición mineralógica y química, confiriéndoles un mayor o menor grado de consistencia, penetrabilidad, expansibilidad y capacidad para ser manipulado o sometido a labores de mecanización, según la cantidad y tipo de arcilla y los porcentajes de magnesio.

### Condiciones Hidrodinámicas de los Suelos

La historia del manejo agronómico muestra que los suelos han sido regados con aguas duras en los últimos 20 años, lo que ha incidido

en las propiedades físicas y en especial en el adensamiento del suelo a lo cual se suma una reacción alcalina con todas sus consecuencias sobre la fertilidad (González y García, 2002).

Según las características de los suelos la porosidad total resultó muy baja y como resultado la infiltración y la conductividad hidráulica son lentas. Para el estudio en detalle de la cantidad, distribución y tamaño de poros se seleccionó el método del porosímetro de mercurio. En la tabla 2 se comparan las propiedades físico-químicas e hidrodinámicas de tres (3) suelos seleccionados.

Tabla 2. Comparación de Propiedades Físico-Químicas e Hidrodinámicas de Suelos Seleccionados del Valle del Río Cauca.

Sitio Taxonomía	Porosidad % Total Macro		PMgl	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)
La Esperanza Typic Calcicquert	2.37	0	37.0	0.9	0.34 L	0.18 L	0.012	0.084	27.7
	8.73	0.53	72.5	1.2					
Argelia Typic Pellustert	1.04	0.05	40.8	1.2	1.19 ML	0.11 L	0.038	0.025	4.7
	0.96	0	87.6	4.6					
Cabaña 3 Typic Endoaquert	1.00	0	44.8	5.1	0.41 L	0.07 mL	0.031	0.047	6.7
	2.15	0.47	45.7	3.4					

Porosidad en porosímetro de Hg, I<sub>b</sub> infiltración básica, K<sub>s</sub> conductividad hidráulica saturada, Φ<sub>m</sub> potencial al flujo matricial, S sortividad, ha presión de entrada de aire al suelo. Clasificación: mL muy lenta, L lenta, ML moderadamente lenta.

La sortividad ( $S$ ) y la presión de burbujeo ( $h_a$ ) de los suelos resultó muy baja, significando que existe limitación del medio poroso para absorber el agua y restricción para los procesos de difusión del aire y los gases. La Esperanza, presentó condiciones ligeramente superiores, denotando menor restricción de la entrada de aire al suelo. La humedad residual  $\theta_r$  de los suelos es alta, reteniendo el agua con gran fuerza en razón de la composición mineral rica en arcillas esmectíticas, que confieren gran hidratabilidad.

La distribución del tamaño de poros ( $\lambda$ ) en los suelos magnésicos resultó muy baja si se compara con los valores encontrados por Van Genuchten et. al. (1991) para Baja California ( $\lambda = 1.896$ ). El parámetro hidráulico ( $\alpha$ ) es similar al obtenido por Rawls et al. (1982), en suelos arcillosos de los Estados Unidos, cuya conductividad hidráulica saturada no superó los  $0.06 \text{ cm.h}^{-1}$  (ver tabla 3).

Tabla 3. Parámetros Hidráulicos Ajustados en Suelos Magnésicos Seleccionados del Valle del Río Cauca (modelo de Van Genuchten et al. 1991)

SITIO Taxonomía		$\theta_r$ ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	$\theta_s$ ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	$\alpha$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$n$	$m^*$	$\lambda$	SSQ* $10^{-5}$	$R^2$
La Esperanza Typic Calcicquert	$X_m$	0.119	0.624	0.036	1.078				
	$Sx^2$	$3.15 \times 10^{-2}$	$8.2 \times 10^{-1}$	$10.8 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-3}$	0.072	0.077	43	0.99
	CV(%)	1.49	1.45	9.14	9.77				
Argelia Typic Pellustert	$X_m$	0.041	0.573	0.054	1.118				
	$Sx^2$	$8.82 \times 10^{-1}$	$4.7 \times 10^{-1}$	$5.3 \times 10^{-3}$	$3.6 \times 10^{-3}$	0.105	0.032	126	0.92
	CV(%)	7.48	8.24	1.35	5.37				
Cabaña 3 Typic Endoaquert	$X_m$	0.056	0.601	0.084	1.089				
	$Sx^2$	$5.56 \times 10^{-1}$	$3.2 \times 10^{-1}$	$2.75 \times 10^{-3}$	$2.9 \times 10^{-3}$	0.081	0.085	21	0.99
	CV(%)	8.67	5.40	1.94	4.80				

$\theta_r$  Humedad residual,  $\theta_s$  Humedad a saturación,  $\alpha$  parámetro hidráulico,  $n$  factor forma,  $m^*$  factor forma,  $\lambda$  Parámetro de Distribución de Tamaño de Poros, SSQ Suma de Cuadrados y  $R^2$  Coeficiente de Determinación.

Los parámetros hidráulicos de los suelos magnésicos del Valle se clasifican dentro de los grupos texturales finos, siendo el parámetro de forma ( $n$ ) de la curva de retención muy similar al grupo de las arcillas de los Estados Unidos, cuya conductividad hidráulica saturada no superó el  $0.02 \text{ cm.h}^{-1}$  (Carsel and Parrish, 1998). Los ajustes de las láminas de agua causadas por los gradientes gravitacional y matricial son leves y son los responsables del flujo instantáneo, el potencial osmótico es

insignificante no presentando influencia sobre el movimiento de agua en estos suelos. El bajo factor de forma ( $n$ ) según (van Genuchten et al., 1991), en el rango de 1.0 a 1.2 corresponde a suelos con textura fina y significa que las curvas de retención tienden a ser planas, explicando la fuerte adhesión de la película de agua a la fracción mineral e impidiendo el flujo libre y su absorción por las plantas. En la tabla 4 se presentan las funciones hidráulicas de tres suelos magnésicos estudiados.



Tabla 4. Funciones Hidráulicas de Suelos Magnésicos Seleccionados del Valle del Cauca.

SITIO Taxonomía	Tasa de Infiltración I (cm. min <sup>-1</sup> )	Conductividad hidráulica K (h) (cm.día <sup>-1</sup> )	Retención de humedad S <sub>e</sub>
La Esperanza Typic Calcicquert	$= 0.320 \cdot t^{-0.67} + 0.006$	$= 0.77 e^{0.036 \cdot h}$	$= 1/[(1 + 0.036 \cdot h)^{1.078}]^{0.072}$
Argelia Typic Pellustert	$= 0.320 \cdot t^{-0.49} + 0.020$	$= 0.93 e^{0.054 \cdot h}$	$= 1/[(1 + 0.054 \cdot h)^{1.118}]^{0.105}$
Cabaña 3 Typic Endoaquert	$= 0.146 \cdot t^{-0.53} + 0.007$	$= 0.93 e^{0.084 \cdot h}$	$= 1/[(1 + 0.084 \cdot h)^{1.089}]^{0.081}$

K (h) Conductividad Hidráulica Insaturada, h es el Potencial Matricial. S<sub>e</sub>: Grado de Saturación Efectiva del Suelo =  $(\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ .

Al desarrollar las funciones hidráulicas resultan flujos lentos y alta retención de humedad en el suelo. El flujo de agua es restringido y se verifica por la escasez de macroporos, a su vez los movimientos de agua son el resultado de rápidos ajustes matriciales a causa de altos gradientes de potencial hídrico en el suelo. Se observa que el incremento de la saturación de magnesio está estrechamente asociado con las deficientes propiedades físicas de estos suelos.

#### Pautas de Manejo de los Suelos Magnésicos

La preparación adecuada de las tierras, la aplicación de riego o prácticas de drenaje y la fertilización, constituyen condiciones requeridas de manejo para su utilización óptima; estos suelos requieren prácticas de mecanización controladas según el nivel de humedad respondiendo adecuadamente a labores de subsolado profundo y al gradual manejo bajo una agricultura consistente en baja tecnología.

Las prácticas de manejo en los suelos deben estar dirigidas a incrementar la tasa de infiltración, reducir la erosión potencial y al uso óptimo del agua recomendándose para éste caso el sistema de aspersión mediana o ligera. Debe examinarse el tipo de fertilización y recomendar 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 de estudiar la calidad del agua de riego porque ellas participan de los procesos de adición y acumulación de sales e iones específicos al suelo.

La adición de materiales orgánicos es importante para mejorar la aireación de estos suelos, incrementar el movimiento del agua, suministrar N (Nitrógeno) a las plantas 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 afectados por sodio, como son la aplicación de enmiendas y lavado, siendo posible el empleo del cultivo de arroz para estos propósitos.

#### Conclusiones

Los Suelos Magnésicos del Valle del Cauca, presentan las siguientes condiciones relevantes:

- Las características físicas están 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 e hidrodinámica del suelo.
- El arreglo estructural es débil con tendencia a masivo y el reducido espacio es dominado por microporos, producto de la dispersión de las

*Condiciones Físicas e Hidrodinámicas de Suelos Magnésicos en el Valle del Cauca, Colombia*

arcillas 2:1 por acción del ión  $Mg^{+2}$  y la reorientación de las láminas de arcilla por fuerzas iónicas y covalentes.

- Los Suelos Magnésicos del Valle del Río Cauca tienen altos porcentajes de arcilla (> 30%) con preferencia en arcillas 2:1, inestabilidad estructural al 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 ( $D_a > 1.7 \text{ Mg.m}^{-3}$ ), baja porosidad total

(<35%), y alta capacidad de retención de humedad, ( $\theta_{1.5 \text{ MPa}} > 0.40 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ). El drenaje natural e interno es imperfecto y lento respectivamente, y presenta impedimento para alcanzar el punto de saturación.

- La alta concentración de  $Mg^{2+}$  en el suelo tiene un efecto significativo sobre la velocidad de infiltración y la conductividad hidráulica y dependiendo de la posición fisiográfica existen ligeras diferencias en el movimiento del agua.

*Agradecimientos*

*A la Universidad Surcolombiana, a la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, CIAT y Corpoica Palmira y a los auxiliares de investigación: Víctor A. Alvear, Cleber G. Becerra y Fannor Barney.*

*Referencias Bibliográficas*

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.

Rawls, W. J., Brakensiek, D. L. and K. E. Saxton. 1982. Estimating soil water properties. Transactions. ASAE, 25(5):1316-1320 and 1328.

Tisdale S. y Nelson W. 1975. Soil fertility and fertilizers. New York: Third ed. Macmilan Publishing. 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, Agricultural Research Service Riverside, California. 85p.