

Cambios Volumétricos en Suelos Magnésicos Del Valle del Río Cauca-Colombia

Armando Torrente Trujillo, Álvaro García-Ocampo, Edgar Amézquita Collazos,
Carlos Alberto Escobar Chalarca, Tomás José Sampayo Noguera

Resumen

Se ha reconocido una extensa área de suelos arcillosos con alta saturación de magnesio denominada 'Suelos Magnésicos', que resisten un especial interés por su incorporación a la producción agrícola intensiva y que requieren de su conocimiento previo para el manejo y recuperación eficiente. Se evaluaron las características físicas relacionadas con el cambio de volumen de suelos con alta saturación de magnesio intercambiable en el Valle del Río Cauca, que inciden sobre sus propiedades y que son básicas para el planeamiento de prácticas de manejo.

Se seleccionaron trece (13) suelos y se midieron los cambios de volumen mediante el encogimiento de muestras con núcleos de volumen conocido bajo condiciones controladas de secado en laboratorio y se determinaron los índices y variables de contracción: volumen específico del suelo (v_s), volumen específico lleno de aire (P), contenido de humedad (θ), contracción normal (n) y contracción residual (r). La contracción de volumen con el secado de los suelos magnésicos influye de manera importante sobre la disponibilidad de agua a los cultivos, la eficiencia en el suministro de agua de riego y lluvia efectiva haciendo más complejo el manejo del suelo, ya que el factor hídrico (lámina de agua, frecuencia, dosis y tiempo de aplicación) determina su consistencia y las características para su uso y su disposición.

Palabras claves: Suelos Magnésicos, Cambio de Volumen en Suelos, Manejo de Suelos.

Abstract

An extensive area of loamy soils has been recognized in the Cauca River Valley with high saturation of magnesium denominated 'Magnesic Soils' that have a special interest for its incorporation to the intensive agricultural production and that require of its previous knowledge for the handling and efficient recovery. The purpose was to evaluate the physical characteristics related with the change of volume of soils with high saturation of exchangeable magnesium and the impact about its properties and that are basic for the practical of handling.

Thirteen soils were selected described and sampled for the study and its was made description and sampling. The changes of volume of the soils were measured by the shrink of samples with cylinder of well-known volume in controlled laboratory under conditions and the indexes and the variables of contraction of the soils were determined: does volume specify (v_s), does volume specify full with air (P), content of humidity (θ), normal contraction (n) and residual contraction (r). The contraction of volume with the drying of the soils magnesic in the Cauca River Valley influence in an important way about the readiness of water to the cultivations, the efficiency in the supply of watering water and effective rain making more complex the handling of the soils, since the factor water (sheet of water, frequency, dose and time of application) does it determine the consistency of the soil and its characteristics for the use and its disposition.

Introducción

Marco de Referencia

Los suelos con elevada saturación de magnesio en el Valle del Río Cauca se caracterizan especialmente por los altos contenidos de arcillas tipo esmectitas, vermiculitas e illitas en suelos clasificados como Vertisoles, Mollisoles, Alfisoles e Inceptisoles. Muchos de éstos presentan concentraciones anormalmente altas de Ca^{+2} supuestamente intercambiable los cuales se encuentran precipitados en forma de carbonatos y bicarbonatos, facilitando la predominancia de iones como Mg^{+2} y/o Na^{+} .

Usualmente no se consideran los efectos producidos por la alta saturación de magnesio, ni se usan parámetros universales para su evaluación, por lo que a menudo se subestima o pasa inadvertido; menos se ha hecho con respecto a la implementación de técnicas de recuperación o prácticas de manejo que permitan minimizar el efecto de este problema sobre la productividad de los cultivos. El propósito fue evaluar las características físicas relacionadas con el cambio de volumen de suelos con alta saturación de magnesio intercambiable en el Valle del Río Cauca, que son básicas para el planeamiento de prácticas de manejo.

En el Valle del Río Cauca, se ha reconocido una extensa área de suelos con propiedades vérticas, con alta saturación de magnesio denominada "Suelos Magnésicos", que revisten un especial interés por su incorporación a la producción agrícola intensiva y que requieren de su conocimiento previo para el manejo y recuperación eficiente.

Propiedades del Ión Magnesio en el Suelo

Los efectos del Ca^{+2} asociados con Mg^{+2} se deben al ambiente de origen y a las diferencias básicas en sus propiedades químicas. El radio cristalográfico del Mg^{+2} es menor que el del Ca^{+2} , mientras que el potencial de humedecimiento y el número de hidratación es mayor para el Mg^{+2} que para el Ca^{+2} , lo cual refleja una mayor película de hidratación; el calor de hidratación es más negativo para el Mg^{+2} que para el Ca^{+2} , lo que indica una coordinación más fuerte del ión Mg^{+2} con las moléculas de agua a su alrededor (Katz, 1998). El mayor grado de hidratación del ión tiene como consecuencia un mayor volumen ocupado por el mismo e incremento de carga de la partícula de arcilla (Ver tabla 1).

Tabla 1. Propiedades Químicas de los Cationes del Suelo.

Ión	Radio Iónico Å	Calor de hidratación Kcal.mol ⁻¹	H ₂ O de hidratación Mol H ₂ O/ión	Entropía de hidratación Cal/mol.°K	Electronegatividad	Potencial Iónico
Ca^{+2}	0.99	-377	8-10	50.0	1.00	0.495
Mg^{+2}	0.65	-456	9-13	64.0	1.31	0.325
Na^{+}	0.95	-95	4	20.9	0.93	0.950
K^{+}	1.33	-75	2.5	12.4	0.82	1.330

Fuente. Fassbender, 1984.

La entropía de hidratación es también mayor para el Mg^{+2} que para el Ca^{+2} indicando que las moléculas de agua están mejor ordenadas a su alrededor que alrededor del ión Ca^{+2} , sugiriendo una interacción más fuerte entre el Mg^{+2} y las moléculas de agua.

Los iones presentes en la solución del suelo a través de sus campos de carga eléctrica atraen los dipolos que forman moléculas de

agua, cubriéndose así de una determinada cantidad de agua de hidratación. La fuerza de hidratación de los dipolos de agua disminuye con la distancia en que estos se encuentran del centro de cargas del catión y poco a poco pasan a ser moléculas de agua libre. El agua de hidratación de los cationes alcalinos y alcalinotérreos disminuye con el aumento del diámetro del átomo. La hidratación de los cationes divalentes es mayor que la de los

monovalentes. A mayor agua de hidratación, menor es la fuerza de atracción que puede ejercer un cambiador sobre un catión, resultando que el Mg^{+2} tiene una mayor interacción que el Ca^{+2} (Fassbender, 1984) (tabla 1).

La gran capacidad de hidratación que le confiere el ión Mg^{+2} al suelo tiene como resultado el enriquecimiento de Na^+ y por consiguiente éste proceso agrava la estabilidad estructural, teniendo como consecuencia una alteración importante de las características físicas, tales como el aumento en la densidad aparente y la plasticidad del suelo, cambios importantes de volumen, alta capacidad de retención de humedad y limitada disponibilidad de agua para las plantas.

Contracción-expansión del suelo

Los cambios volumétricos del suelo asociados a variaciones en el contenido de agua han sido estudiados en diversidad de suelos con potencial de expansión-contracción (Berndt and Coughlan, 1976; Yule and Ritchie, 1980; Jawyawardane and Greacen, 1987; Crescimanno and Provenzano, 1999; Taboada et al., 2001). La mayoría de estas investigaciones se han realizado en suelos agrícolas bajo un estrecho rango de contenidos de agua y sujetos a diferentes sistemas de cultivo. Se ha prestado escasa atención al estudio de los cambios volumétricos en suelos bajo anegamiento temporal, los cuales están sometidos periódicamente a labores agrícolas y se hallan afectados por inundación y/o niveles freáticos altos (Jacob et al., 1997; Parker et al., 1982).

La presión de aire atrapado en los poros es otro factor que posiblemente causa la expansión del suelo (Gath and Frede, 1995). El aire atrapado en el avance del frente de humedecimiento fue estudiado con relación a la influencia sobre el ingreso del agua y su redistribución a través del perfil del suelo (Wang et al., 1998 citados por Taboada et al. 2001). Cuando el agua se infiltra en el suelo

sobre una extensa área, el aire contenido inicialmente a la presión barométrica local (aproximadamente 10 m de agua) es desplazado y probablemente comprimido delante del frente de humedecimiento por el agua que penetra. Wang et al. (1998) citados por Taboada (2001), determinaron "el valor de ruptura de aire" el cual es la máxima presión capilar cuando el aire erupciona a la superficie del suelo. A ésta alta presión de ruptura, el aire atrapado en el suelo húmedo escapa hacia la superficie a través de la interconexión de poros grandes.

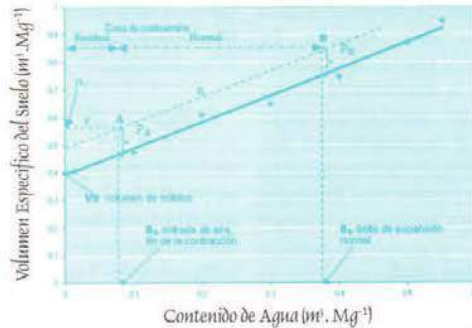
El ingreso de aire está relacionado con los procesos de secado del suelo, pero los mecanismos por los cuales se causa la expansión del suelo son poco conocidos. Particularmente, los suelos anegados estacionalmente representan un caso donde la influencia del frente de humedecimiento puede ser superior comparado con otros suelos.

Taboada et al., (2001) plantearon que los cambios volumétricos del suelo se deben a un amplio rango de contenidos de agua en los ciclos de secado-humedecimiento, y que su expansión se acentúa por el efecto del aire atrapado en el frente de humedecimiento, cuando el agua avanza en el perfil del suelo y entre otros por causa de niveles freáticos altos o por anegamiento con el agua lluvia.

Los cambios de volumen del suelo han sido medidos normalmente por el encogimiento de terrones naturales bajo condiciones controladas de secado en laboratorio o por repetidas pruebas de muestreo con núcleos de volumen conocido en el campo. En ambos casos, se grafica el inverso de la densidad aparente (volumen específico) contra el contenido de agua volumétrico del suelo. Las líneas rectas ajustadas permiten la identificación de diferentes zonas de contracción. La contracción normal (B-A) es caracterizada por disminuciones equivalentes en ambos (volumen específico y contenido de agua volumétrico) durante el secado, de tal manera que no existe entrada de aire a los poros.

En el rango más seco de cambio de humedad volumétrica (A- α), las disminuciones del volumen específico del suelo durante el secado son más bajas o incluso nula. La contracción residual permite la entrada de aire a los poros del suelo, y de la creación de la porosidad llena de aire. Para facilitar esta discusión, Mc Garry y Daniells (1987) derivaron varios índices y las variables relacionadas con la contracción de

terrones de suelo natural. La contracción residual inherente a las propiedades de los suelos según Taboada et al. (2001), mostró pendientes menores de la unidad ($n = \delta v / \delta \theta < 1$), y para la contracción normal valores aproximadamente iguales a la unidad ($n = \delta v / \delta \theta \approx 1$). La gráfica 1 muestra los cambios de densidad aparente (inverso del volumen específico, v) a diversos contenido de agua del suelo (θ).



Gráfica 1. Curvas de Contracción Teórica Mostrando las Diferentes Zonas de Contracción y los Índices y Variables Derivadas.

Los símbolos de los índices y las variables derivadas de las curvas de contracción son:

θ_B	θ al límite de la expansión normal.
θ_A	θ al punto de entrada de aire, fin de la contracción residual.
n	Pendiente de la línea B - A (contracción normal).
r	Pendiente de la línea A - α (contracción residual).
v_B	Volumen específico al límite de la expansión normal.
v_A	Volumen específico en el punto de entrada de aire.
α	Volumen específico al punto de contenido de agua cero.
P_B	Volumen específico de poros llenos de aire en B.
P_A	Volumen específico de poros llenos de aire en A.
P_α	Volumen específico de poros llenos de aire en α .
$\theta_B - \theta_A$	Diferencia entre θ en el límite de expansión normal y θ en el punto de entrada de aire. Rango de θ en la zona de contracción normal.

Taboada et al., (2001) sobre suelos Natraquoll y Natraqualf de la Pampa Argentina encontraron valores n de 1.47-1.48 en el horizonte superior y de 1.93-1.98 en el horizonte B_t , observando procesos de expansión anormal. Teniendo en cuenta el estrecho rango de contenido de humedad volumétrico en campo (0.25 v/v) en ambos horizontes B_t , lograron verificar sus hipótesis: el aire queda atrapado en medio del avance de dos frentes de humedecimiento: a) por el ascenso del nivel

freático y b) el agua que se infiltra cuando el suelo está bajo inundación. Como resultado de lo anterior, el volumen de aire en los poros incrementa durante el humedecimiento del suelo alcanzando valores tan altos como 0.24 - 0.34 v/v, y 0.35 v/v al límite de la máxima expansión en los horizontes superiores y B_t respectivamente. Los resultados muestran que el aire atrapado causa expansión o "inflación" del suelo lo cual confirmó la segunda hipótesis planteada, siendo la influencia del aire

atrapado más pronunciada que una simple expansión en el horizonte B. El aire atrapado causó una expansión total del suelo de aproximadamente 0.4 m en campo.

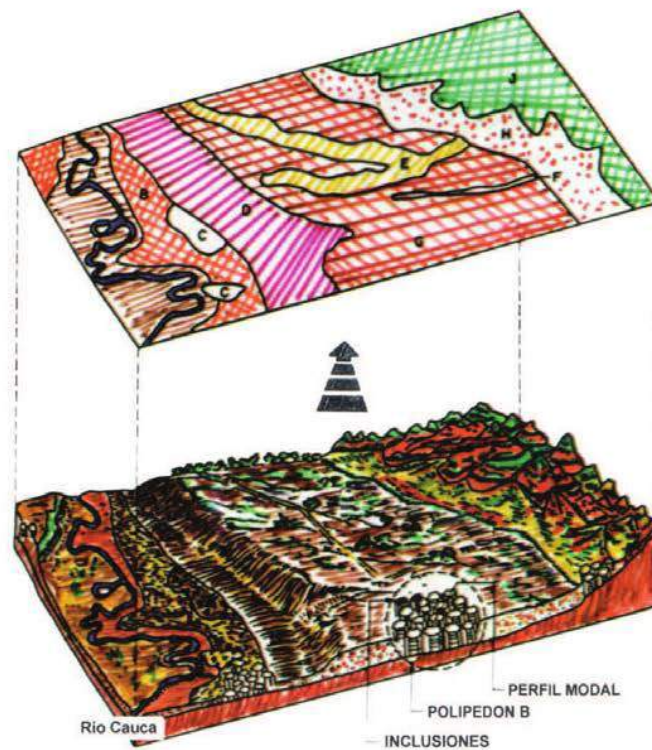
Metodología

Generalidades del Área de Estudio

La investigación se desarrolló en la planicie aluvial del Río Cauca con elevación entre 930 y 1038 msnm, temperatura media de 25°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 complementarios para la eficiente producción agrícola en la zona.

Se seleccionaron trece (13) suelos con alta saturación de Mg^{+2} en el Valle del Río Cauca, ubicados sobre dos grandes posiciones del paisaje: Planicie fluvio-lacustre y planicie aluvial de piedemonte. A la primera corresponden los suelos localizados sobre el basín y el pie de abanico; a la planicie aluvial de piedemonte corresponden los suelos sobre posición de cuerpo de abanico, ápice de abanico y pie de colina (Figura 1).



Planicie fluvio-lacustre: A. Dique, B. Basín, C. Cubeta, D. Pie de abanico, E y F. Diques y explayamientos.
Planicie aluvial de piedemonte: G. Cuerpo de abanico, H. Ápice de abanico, J. Colinas.
Figura 1. Posiciones del Paisaje del valle del Río Cauca, Colombia.

Cambios Volumétricos en Suelos Magnésicos del Valle del Río Cauca - Colombia

Los suelos pertenecen a los órdenes vertisol, mollisol e inceptisol, predominando el orden vertisol en nueve (9) sitios. Los vertisoles se caracterizan por contener por los menos 30% de arcilla hasta una profundidad de 50 cm o más, además de cumplir otros requisitos derivados del alto contenido de arcillas 2:1, entre ellos el agrietamiento profundo marcado, las estructuras con lustre en forma de cuña y rotadas de su eje vertical, y en algunos casos, presencia del relieve gilgai. Químicamente, estos vertisoles poseen alta saturación de magnesio en el complejo de cambio, alta a muy alta capacidad de intercambio catiónico (CIC > 20 cmol(+).kg⁻¹), saturación total muy alta, reacción neutra a moderadamente alcalina, presencia de superficies de deslizamiento (slickensides), régimen de humedad del suelo údico o áquico, colores con cromas menores de 1.5 dentro de los primeros 30 cm de profundidad.

Los suelos del orden vertisol en el Valle del Cauca se encuentran comúnmente dentro de los conjuntos Herradura, Burrigá, Esneda y Galpón. El conjunto Herradura comprende suelos de pie de abanicos, desarrollados a partir de materiales aluviales finos. Las texturas varían de franco arcillo-arenosa a arcillosa, son suelos poco o nada estructurados, imperfectamente drenados, superficiales a moderadamente profundos, limitados por horizontes salinos o sódicos (Gómez, 1993). Entre los demás órdenes, se encuentran suelos de los conjuntos Palmaseca, Palmirita, Zaragoza, Bolívar, Guadualito y de los complejos Esneda-Pichichí y Galpón-Herradura, con características comunes tales como altos contenidos de arcilla, drenaje natural pobre a muy pobre, alto contenido de bases, CIC alta y deterioro físico a causa de alta concentración de sales como Na⁺, Mg²⁺ y pH neutro a alcalino.

Una vez seleccionados los suelos, se procedió a su descripción y muestreo. Los cambios de volumen del suelo se midieron por el encogimiento de muestras en núcleos de

volumen conocido bajo condiciones controladas de secado en sucesivas pruebas en laboratorio. La información se sometió a análisis e interpretación para reconocer las limitaciones y potencialidades de estos. De los suelos evaluados se seleccionaron tres (3) para el estudio en detalle: Suelos La Esperanza, Argelia y Cabaña 2.

Resultados y Discusión

Cambio de volumen

Con el secado de los suelos se presentan fenómenos totalmente opuestos a los que ocurren durante el humedecimiento. El secado produce contracción de las arcillas y es un proceso endotérmico. Durante el secado primero es liberada el agua que rellena los poros y luego el agua ligada en las estructuras minerales arcillosas, sucesivamente y de acuerdo a la fuerza de enlace superficial. El agua se desprende gradualmente de acuerdo al tipo de cationes presentes en las intercapas.

La contracción promedio de volumen específico fue de 0.44 m³.Mg⁻¹ en los suelos de la posición fluvio-lacustre y 0.27 m³.Mg⁻¹ en los suelos del piedemonte. Los cambios de volumen están relacionados con el contenido de arcilla ($r=0.53$)* y la densidad aparente del suelo ($r=0.52$)*. La tendencia general es, que a medida que se pierde agua se manifiesta una mayor contracción del suelo, siendo éste proceso drástico a 0.03 MPa, existiendo mayor efecto sobre aquellos suelos con elevado contenido de arcillas tipo 2:1.

Los suelos La Esperanza, Argelia y Cabaña 2 mostraron en el primer horizonte cambios de volumen desde saturación hasta suelo seco al aire de 0.348, 0.596 y 0.313 m³.Mg⁻¹ respectivamente. El volumen específico (v en m³.Mg⁻¹) con relación a la tensión al suelo (T en MPa) se ajustó al modelo de regresión de potencia, así (tabla 2):

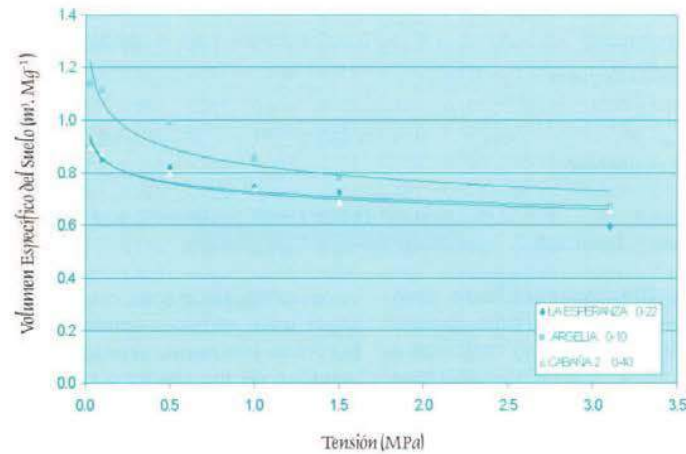
* Altamente significativa.

La Esperanza A_1 : $v = 0.720 T^{-0.076}$ $R^2 = 0.807$ (1)
 Typic Calciaquert

Argelia Ass_1 : $v = 0.828 T^{-0.111}$ $R^2 = 0.882$ (2)
 Typic Pellustert

Cabaña 2 Ap : $v = 0.727 T^{-0.070}$ $R^2 = 0.942$ (3)
 Aquertic Argiudoll

En la gráfica 2 se observa que el suelo Argelia experimentó mayor cambio de volumen comparado con los suelos La Esperanza y Cabaña 2, debido a su mayor capacidad de absorción de agua, factor que influye sobre el cambio de la densidad aparente del suelo.

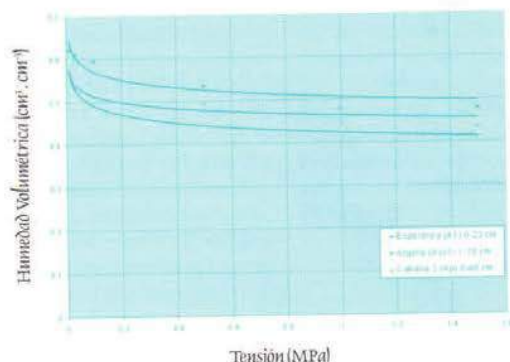


Gráfica 2. Cambios de Volumen Específico del Suelo con la Aplicación de Tensión en Tres Suelos Seleccionados del Valle del Río Cauca.

Es evidente que la expansión se ha considerado como el principal mecanismo responsable de la disminución de la conductividad hidráulica a medida que el porcentaje de magnesio intercambiable (PMgI) aumenta y la concentración de sales disminuye. Los resultados experimentales (IGAC, 1995) han demostrado que este efecto es mayor para suelos con altos contenidos de

arcilla y minerales expansibles como esmectitas y vermiculitas y menor para caolinitas y halloisitas.

La curva de retención expresada por la humedad volumétrica (θ en $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) en función de la tensión (T en MPa) aplicada al suelo, se ajustó a regresión de potencia con altos coeficientes de determinación (R^2), así (gráfica 3):



Gráfica 3. Curvas de Retención de Humedad de Tres Suelos Seleccionados en el Valle del Río Cauca, Colombia.

La Esperanza A_1 : $\theta = 0.505 T^{-0.051}$, $R^2 = 0.922$ (4)
Typic Calciaquert

Argelia Ass_1 : $\theta = 0.463 T^{-0.044}$, $R^2 = 0.897$ (5)
Typic Pellustert

Cabaña 2 Ap : $\theta = 0.423 T^{-0.064}$, $R^2 = 0.923$ (6)
Aquertic Argiudoll

La capacidad de almacenamiento de agua útil en suelos con alta saturación de magnesio es limitada y la disponibilidad se restringe a un rango estrecho (0.03 - 0.5 MPa), obsérvese en la gráfica 3 que por encima de ésta última tensión la pendiente de la curva tiende a ser constante e inferior al 0.01, a partir del cual no existen diferencias significativas de humedad.

Volumen específico de los suelos

Los suelos de la posición fluvio-lacustre presentaron en general mayor volumen específico ($v_B < 1.14 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1}$) y mayor cambio del volumen ($CV = 0.44 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1}$) con la pérdida de humedad comparado con los suelos de la planicie aluvial de piedemonte ($v_B < 0.95 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1}$ y $CV \approx 0.27 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1}$ respectivamente). Las diferencias son debidas a los efectos de hidromorfismo en los suelos de la posición fluvio-lacustre, teniendo éstos a su vez enriquecimiento en arcillas esmectíticas y

vermiculíticas, mayor concentración del ión Mg^{+2} y en algunos suelos de Na^+ , lo cual favorece las características de cambios de volumen de los suelos con alta saturación de magnesio.

Los suelos Paso Ancho, Ceniuva, Berginie y Cabaña 1 mostraron volúmenes específicos más bajos ($v_B < 0.781 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1}$) y menores contracciones, estos a excepción de Ceniuva poseen clase textural media a gruesa siendo menos expuestos a los procesos de expansión-contracción de las arcillas en los diferentes ciclos de humedecimiento y secado; el suelo Ceniuva presentó compactación, factor que afectó los cambios de volumen. Los contenidos de humedad fueron superiores en los suelos de la posición fluvio-lacustre ($\theta < 0.58 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1}$) comparados con la planicie aluvial de piedemonte ($\theta < 0.47 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1}$), teniendo los menores contenidos de humedad Paso Ancho, Berginie y Cabaña 1 ($\theta < 0.28 \text{ m}^3 \cdot \text{Mg}^{-1}$), suelos con texturas medias a gruesas.

Índices y variables de contracción del suelo

En la tabla 2 se presentan los índices y las variables de contracción de los suelos con alta

saturación de magnesio en el Valle del Río Cauca: volumen específico del suelo (v), volumen específico lleno de aire (P), contenido de humedad (θ), contracción normal (n) y contracción residual (r).

Tabla 2. *Índices y Variables de Contracción de Suelos con Alta Saturación de Magnesio en el Valle del Río Cauca, Colombia.*

Sitio	Prof. (cm)	Volumen específico (m ³ .Mg ⁻¹)		Volumen específico de poros llenos de aire (m ³ .Mg ⁻¹)			Contenido de Humedad (m ³ .Mg ⁻¹)			Contracción		
		v _B	v _A	P _B	P _A	P	θ _B	θ _A	θ	n	r	
PLANICIE FLUVIO-LACUSTRE												
TRINIDAD	0-30	0.980	0.741	0.532	0.031	0.035	0.153	0.571	0.336	0.235	1.02	-0.63
(Typic Natraquert)	30-50	1.020	0.735	0.532	0.033	0.014	0.157	0.613	0.351	0.263	1.09	-0.58
CABAÑA 3	0-25	1.053	0.787	0.571	0.111	0.084	0.173	0.544	0.323	0.221	1.20	-0.67
(Typic Endoaquert)	25-54	1.087	0.787	0.562	0.116	0.094	0.170	0.578	0.321	0.257	1.17	-0.70
CABAÑA 4	0-30	0.990	0.781	0.585	0.175	0.194	0.192	0.423	0.238	0.185	1.13	-0.83
(Ustic Endoaquert)	30-45	0.855	0.758	0.602	0.032	0.117	0.210	0.431	0.277	0.154	0.83	-0.56
LA	0-22	0.901	0.725	0.552	0.031	0.015	0.164	0.550	0.346	0.203	0.87	-0.50
ESPERANZA	22-44	0.917	0.735	0.546	0.024	0.001	0.154	0.533	0.343	0.190	0.96	-0.55
(Typic Calciaquert)	44-80	0.900	0.730	0.550	0.024	0.061	0.154	0.489	0.299	0.190	0.89	-0.60
ARGELIA	0-10	1.136	0.781	0.541	0.147	0.075	0.156	0.606	0.338	0.267	1.33	-0.71
(Typic Pellustert)	10-30	1.000	0.769	0.538	0.080	0.066	0.148	0.531	0.329	0.202	1.14	-0.70
	30-60	1.000	0.750	0.530	0.095	0.088	0.146	0.526	0.309	0.217	1.15	-0.71
CABAÑA-ROZO	0-25	0.952	0.714	0.508	0.072	0.082	0.147	0.519	0.295	0.224	1.06	-0.70
(Typic Natraquert)	25-65	1.053	0.730	0.538	0.068	0.033	0.146	0.592	0.314	0.278	1.16	-0.61
PLANICIE ALUVIAL DE PIEDEMONTE												
CI. PALMIRA	0-40	0.870	0.752	0.568	0.146	0.195	0.168	0.323	0.205	0.118	1.00	-0.89
(Typic Haplustert)	40-60	0.826	0.752	0.559	0.086	0.206	0.162	0.344	0.200	0.144	0.52	-0.97
VILLA CLARA	0-20	0.909	0.730	0.513	0.220	0.219	0.133	0.309	0.190	0.119	1.50	-1.14
(Typic Calcicustert)	20-40	0.926	0.758	0.521	0.232	0.219	0.152	0.324	0.223	0.101	1.66	-1.06
PASO ANCHO	0-33	0.7810	0.658	0.602	0.137	0.242	0.234	0.282	0.136	0.146	0.85	-0.41
(Pachic Haplustoll)	33-62	.943	0.741	0.621	0.308	0.382	0.253	0.268	0.090	0.178	1.14	-1.32
CENIUVA	0-16	0.787	0.629	0.508	0.028	0.019	0.137	0.423	0.247	0.196	0.90	-0.49
(Typic Pellustert)	16-25	0.775	0.658	0.510	0.033	0.016	0.133	0.469	0.303	0.166	0.71	-0.49
BERGINIE	0-20	0.730	0.606	0.556	0.101	0.115	0.174	0.247	0.153	0.094	1.32	-0.33
(Fluventic Ustropept)	20-50	0.752	0.654	0.581	0.126	0.246	0.204	0.248	0.116	0.132	0.74	-0.62
CABAÑA 1	0-25	0.725	0.633	0.565	0.161	0.235	0.189	0.188	0.108	0.079	1.15	-0.63
(Typic Ustropept)	25-48	0.690	0.645	0.552	0.112	0.241	0.160	0.185	0.097	0.087	0.51	-0.95
CABAÑA 2	0-40	0.901	0.690	0.588	0.054	0.010	0.196	0.455	0.290	0.165	1.28	-0.35
(Aquertic Argiudoll)	40-55	0.926	0.730	0.556	0.131	0.119	0.161	0.400	0.247	0.153	1.28	-0.70
	55-78	0.920	0.700	0.550	0.094	0.086	0.160	0.402	0.255	0.147	1.49	-0.59

Cambios Volumétricos en Suelos Magnésicos del Valle del Río Cauca - Colombia

En la posición fluvio-lacustre la pendiente de la recta de contracción normal "n" está en el rango de 1.33 a 0.63 y la pendiente de la recta de contracción residual "r" está entre -0.83 a -0.50. En los suelos del piedemonte la variación de "n" fue de 1.66 a 0.51 y de "r" entre -1.32 y -0.33. El suelo Villa Clara presentó en ambos horizontes estudiados alto coeficiente "n" (1.50 y 1.66) y también coeficiente "r" más negativo (-1.14 y -1.06) comparado con el resto de los suelos, significando que éste tiene mayor alteración de volumen con la pérdida de humedad tanto en condiciones de humedad normal en campo como en el rango de humedad residual, el volumen específico de poros llenos de aire en la condición de suelo seco P_{0s} es muy baja para ambos horizontes (0.133 y 0.152 $m^3 \cdot Mg^{-1}$). Ceniuva presentó igualmente bajo volumen específico de poros llenos de aire a causa del adensamiento del suelo.

La contracción del suelo presenta dos zonas características: una zona de contracción residual y otra zona de contracción normal. Estos suelos tienen alta proporción de arcillas expansibles. Los suelos tienen pendientes "n" cercanas a la unidad, mostrando contracción residual durante la fase de secado. El volumen específico de los poros llenos de aire tiende a incrementar con el secado del suelo (P_B y $P_A < P_{0s}$). Existen diferencias significativas en los índices de contracción entre los distintos suelos ($P < 0.0001$), excepto en el coeficiente "r", el cual no es significativo.

El suelo La Esperanza, presentó la menor contracción normal ($n = 0.87$ a 0.96) y residual ($r = -0.5$ a -0.6) en los tres horizontes respecto al resto de los suelos de la posición fluvio-lacustre. Esto es debido a la fuerte retención de humedad del suelo conferida por las arcillas esmectíticas en presencia de altas concreciones calcáreas.

El suelo en el punto B tiene significativamente mayor cantidad de humedad volumétrica (θ_B) y mayor volumen específico (v_B). Los bajos contenidos de materia orgánica en el suelo

favorecen los cambios de expansión volumétrica, por los débiles enlaces entre las partículas y agregados.

Ocurre una mayor pérdida de agua en la zona de contracción normal para la posición fluvio-lacustre ($0.15-0.25 \text{ m}^3 \cdot Mg^{-1}$) comparada con la posición de piedemonte ($0.10 - 0.20 \text{ m}^3 \cdot Mg^{-1}$). El rango de humedad en la zona de contracción volumétrica residual ($\theta_A - \theta_B$) fue alto para los suelos en general, siendo inferior en la planicie aluvial de piedemonte, y el volumen específico de aire llenando los poros (P_{0s}) alcanzó valores entre 0.15 y 0.2. Esta considerable expansión volumétrica es atribuida a la gran relación de absorción de magnesio en las arcillas presentes en estos suelos.

Los índices y variables de contracción mostraron diferencias significativas entre suelos a un nivel de probabilidad de 0.001, excepto para las variables P_B (volumen específico de poros llenos de aire con $P < 0.01$), el coeficiente "n" ($P < 0.05$) y el coeficiente "r" el cual no presentó diferencias significativas (NS). Entre los horizontes del suelo las diferencias fueron no significativas (NS) excepto para las variables contenido de humedad volumétrica (θ_A, θ_B) con probabilidades del 0.01 y 0.05 respectivamente.

Conclusiones

- La contracción de volumen con el secado de los suelos magnésicos en el Valle del Río Cauca influye de manera importante sobre la disponibilidad de agua para los cultivos, la eficiencia en el suministro de agua de riego y lluvia efectiva haciendo más complejo el manejo del suelo, ya que el factor hídrico (lámina de agua, frecuencia, dosis y tiempo de aplicación) determina la consistencia del suelo y sus características para el uso y disposición de éste recurso.

- Los suelos magnésicos del Valle del Río Cauca presentan alteración considerable de volumen, aproximadamente del 28% durante los ciclos de secado - humedecimiento, lo cual indica que estos poseen características físicas

dinámicas alterables bajo condiciones naturales.

- Los cambios de volumen están relacionados de manera directa con el contenido de arcillas ($r = 0.53$)^{*} y la densidad aparente del suelo ($r = 0.52$)^{*}. La tendencia general es, que a medida que se pierde agua se manifiesta una contracción del suelo, siendo éste proceso drástico a 0.03 MPa, influenciado por el contenido y tipo de arcillas.

- El contenido de humedad en los suelos magnésicos determina la condición física y su capacidad para resistir cargas, presentándose cambios de volumen significativos en los procesos de sorción-

desorción de agua, la porosidad se altera según los procesos de contracción-expansión y la consistencia está sujeta a los niveles de humedad presentes en el suelo.

- Existe una fuerte interacción entre el ión Mg^{+2} y las moléculas de agua asociadas a 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

f o r m a n compuestos de alta hidratabilidad y modifican constantemente sus propiedades físicas bajo condiciones de hidromorfismo.



Agradecimientos

A la Universidad Surcolombiana de Neiva, la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira y CIAT, Corpoica-Palmira y los auxiliares de investigación Víctor A. Alvear, Cléver G. Becerra y Fannor Barney.

Referencias Bibliográficas

- Berndt, R. D., Coughlan, K. J. «The nature of changes in bulk density». In: Aust. J. Soil Res. Vol. 15. 27-37p. 1976.
- Crescimanno, G., Provenzano G., «Soil shrinkage characteristic curve in clay soils: measurement and prediction». In: Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 63. 25 - 32.p. 1999.
- Fassbender, H. W. Dinámica de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA. Costa Rica. 1984. p. 398.
- Gath, S., Frede, H. G. Mechanisms of air slaking. In: Hartge, K. H. Stewart. Soil Structure: Its development and function. C. R.C. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 1995.
- Gómez, C. A. «Comparación de métodos para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos salinos y/o sodicos del Valle Geográfico del Río Cauca». En: Tesis de grado M.Sc. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 251p. 1993.
- IGAC, Subdirección Agrológica. Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Santa fe de Bogotá D.C. 632.p. 1995.
- Jacob, J. S., Griffin, R. W., Miller, W. L., Wilding, L. P. Aquerts and Aquertic soils proposition. In: Vepraskas. M. J., Sprecher, S. W. (Eds.) Aquic Conditions and Hydric soils: In Problem Soils. SSSA Special Publication. Number 50. Soil Science Society of America Publishers. Madison, Wisconsin., USA. pp. 61-72. 1997.
- Jayawardane, N. S., Greacen, E. L. «The nature of swelling in soils». Aust. J. Soil Res. Vol. 25. 107-113. 1987.
- Katz, H. Mechanisms of Mg-induced soil deterioration and its characterization. Comments to the Proposal. Bard, the United States-Israel Binational Agricultural Research and Development Fund. 1998. 28p.
- Mc Garry, D. Daniells. «Shrinkage curves indices to quantify cultivations effects on soil structure of a Vertisol». Soil Sci. Soc. Am. J. Vol.51. 1575 - 1580.p. 1987.
- Parker, J. C., Amos, D. F., Zelazny, L. W. «Water adsorption and swelling of clay minerals in soil systems». Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 46. 450-456.p. 1982.
- Taboada, M. A., Lavado, R. S., Rubio, G. «Consentino, D. J. Soil Volumetric changes in natric soils caused by air entrapment following seasonal ponding and water tables rises». Elsevier. Buenos Aires, Argentina. Geoderma. Vol.101. 49-64.p. 2001.
- Yule, D.F. and J. T. Ritchie. «Soil Shrinkage relationships of Texas Vertisols: I. Small cores». Soil Science Society of America Journal. Vol. 44. 1285-1291.p. 1980.