

# EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA COMPACTACIÓN EN CUATRO SERIES DE SUELO BAJO USO AGRÍCOLA EN VENEZUELA

Willians J. Reyes R.<sup>1</sup>

## RESUMEN

La compactación de suelos es uno de los procesos de degradación física más común en suelos agrícolas altamente productivos y una de las causas de la reducción de la productividad. Bajo esta perspectiva, se justifica el desarrollo de metodologías que permitan estimar los riesgos de compactación de los suelos, para así prevenir o mitigar sus efectos adversos. En el presente estudio se construyeron las curvas de compactación de suelos representativos de cuatro series bajo uso agrícola en Venezuela: Valle Lindo y Valle de Quíbor (Lara), Turén (Portuguesa) y El Patillal (Falcón), utilizando la metodología del Proctor estándar, con el propósito de estimar el grado de susceptibilidad de los suelos a compactarse, estimando los contenidos de humedad en los cuales presentan mayores riesgos de compactación. Asimismo, se estimaron las relaciones de las variables de la curva de compactación, humedad crítica y densidad aparente máxima, con las propiedades del suelo, distribución de tamaño de partículas y materia orgánica, y se encontró que mayores contenidos de partículas gruesas y bajos contenidos de materia orgánica originaron mayores niveles de densidad a menores contenidos de humedad, mientras que el predominio de partículas finas y altos contenidos de materia orgánica produjeron menores niveles de densidad a mayores contenidos de humedad. Los suelos FL de la serie Quíbor presentaron mayor susceptibilidad a la compactación que los suelos de similar granulometría de la serie Turén. Por otra parte, los suelos arenosos de la serie El Patillal presentaron mayor susceptibilidad que los suelos del mismo grupo textural de Quíbor y Valle Lindo.

**Palabras clave adicionales:** Degradación de suelos, propiedades físicas de suelos, materia orgánica

## ABSTRACT

### **Evaluation of the compaction susceptibility in four series of soil under agricultural use in Venezuela**

Soil compaction is one of the most common physic degradation processes in highly productive agricultural lands and one of the reasons of productivity reduction. In this situation it is justified the development of methodologies that allows estimating the soil compaction risk, and so, prevent or mitigate its adverse effects. In this study, the compaction representative curves of the soil series Valle Lindo and Valle de Quíbor (Lara State), Turén (Portuguesa State), and El Patillal (Falcón State), Venezuela, were developed, using the standard Proctor methodology, with the purpose of using it as a tool to estimate the susceptibility degree of the soil to get compaction, estimating the humidity contents in which the soil present greatest risks of compaction. There were also estimated the relationship of the variables of the compaction curve (critic moisture and maximum bulk density) with the soil properties (particles size distribution and organic matter) and it was found that greatest contents of thick particles and low organic matter content originated largest densities at lowest humidity contents, while the prevalence of fine particles and high organic matter content produced lower densities at higher humidity content. The FL soils of Quíbor presented greater susceptibility to compaction that soils with similar texture of Turén. On the other hand, the sandy soils of the El Patillal presented greater risks of compaction than the soils of same textural group of Quíbor and Valle Lindo.

**Additional key words:** Soil degradation, soil physics, organic matter

## INTRODUCCIÓN

La compactación de suelos es uno de los factores de mayor incidencia en la degradación de suelos agrícolas (Ball et al., 1997), caracterizándose por la reducción del tamaño,

continuidad y cantidad de poros del suelo (Soane, 1980). Este tipo de degradación física puede originarse por dos vías: en forma natural debido a ciclos de humedecimiento y secado del suelo o artificialmente mediante la aplicación de cargas pesadas (Lebert y Horn, 1991). Esta última fuente

---

Recibido: Julio 1, 2008

Aceptado: Octubre 16, 2009

<sup>1</sup> Programa de Ingeniería Agronómica, Área de Ciencias de Agro y Mar, Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda". e-mail: williansr@cantv.net

es la de mayor contribución a los procesos de compactación en los suelos altamente productivos y mecanizados, siendo consecuencia del tránsito de maquinaria, equipos e implementos agrícolas sobre la superficie del suelo (Claverie et al., 2000; Pla y Nacci, 2001). La aplicación continua de cargas provenientes del peso de la maquinaria agrícola sobre el suelo origina gradualmente un deterioro estructural, lo que se manifiesta principalmente en menor disponibilidad de aire y agua para las plantas, menor penetración radical, menor acceso a los nutrientes, menor infiltración, mayores riesgos de erosión hídrica y en algunos casos en reducción de la productividad de suelos y cultivos (Núñez y De Bisbal, 1999; Nacci et al., 2002).

En este contexto se plantea la necesidad de desarrollar estimadores y metodologías que permitan predecir los procesos de compactación de suelos, con el propósito de tomar las medidas preventivas necesarias para reducir riesgos y evitar los efectos adversos de este proceso degradativo (Saini y Chaw, 1984). Una de las metodologías empleadas en el laboratorio para simular las cargas provenientes de las maquinarias sobre el suelo son los ensayos del Proctor, que consisten en compactar bajo un mismo nivel de presión y energía una muestra de suelo a diferentes niveles de humedad, logrando obtener las curvas de compactación mediante la relación entre los valores de humedad y densidad aparente. Este ensayo dado su relativa sencillez en relación a equipos y procedimientos, representa una metodología potencial para estimar la susceptibilidad o riesgos de compactación de los suelos en el campo agrícola (Dias, 2000a). En este sentido, en el presente estudio, se construyeron las curvas de compactación de cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela, con el propósito de estimar los riesgos de compactación que presentan los mismos. Así también, se estimaron algunas propiedades del suelo con el propósito de comprender mejor la susceptibilidad del mismo a los procesos de compactación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en las siguientes cuatro series de suelo de Venezuela: 1. Valle Lindo, orden Inceptisol (estado Lara); 2. Valle de Quibor, orden Aridisol con dos grupos texturales (estado

Lara); 3. Turén, orden Inceptisol con cuatro grupos texturales (estado Portuguesa); y 4. El Patillal (estado Falcón). Las unidades de muestreo seleccionadas fueron las parcelas de los productores, las cuales varían en superficies de 20 a 40 ha, donde se tomaron muestras de los principales tipos texturales representativos de las series de suelo. De cada localidad se obtuvieron muestras compuestas a partir de diez muestras simples al azar. La profundidad de muestreo fue de 30 cm por considerar que los efectos más marcados de los procesos mecanizados se evidencian mayormente hasta esa profundidad (Dias, 2000a; Dias, 2000b). Se utilizó un equipo Proctor estándar ASTM manual, el cual está constituido por un molde cilíndrico de 101,6 mm de diámetro interior, 116,4 mm de altura para un volumen de 944 cm<sup>3</sup> y un martillo de 50,8 mm de diámetro y peso de 2,5 kg. La metodología consistió en colocar dentro del molde tres capas de suelo induciéndole la compactación por medio de 25 golpes repartidos uniformemente al dejar caer el martillo desde una altura de 30,5 cm. En cada serie se realizaron diez pruebas para cada uno de seis contenidos diferentes de humedad del suelo que al relacionarse gráficamente con la densidad aparente se obtuvo la curva de compactación del suelo. Los datos obtenidos fueron ajustados a una ecuación de regresión cuadrática, herramienta que permitió estimar la máxima densidad aparente alcanzada en el suelo y su correspondiente humedad.

Por otra parte, se estimó la distribución de tamaño de partículas por el método del densímetro (método de Bouyucos) y la materia orgánica indirectamente a través del carbono orgánico con el propósito de evaluar la relación de estas variables con el comportamiento de la curva de compactación (Dias, 2000a; Dias, 2000b) mediante regresiones simples y múltiples. Así también, se construyó para los suelos representativos de cada serie de suelo, las curvas características de humedad con el propósito de estimar el potencial correspondiente a la humedad crítica de compactación y los riesgos derivados de la interpretación del referido potencial.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestran las ecuaciones de regresión obtenidas para los suelos representativos

de cada serie y se aprecia que la ecuación cuadrática representa bien la relación funcional entre la densidad y la humedad. Se puede observar como en general las ecuaciones muestran altos coeficientes de determinación ( $R^2 > 0,75$ ) y bajos valores de error, estadísticos que señalan la bondad de ajuste y la precisión de las ecuaciones para predecir. Por otra parte, el valor elevado del coeficiente de determinación indica que la humedad explica un alto porcentaje del comportamiento de la densidad cuando la presión se mantiene constante o uniforme. En efecto, la humedad facilita el reordenamiento de las partículas de suelo de manera más compacta al ser sometidos a presiones (Davies, 1985). Así también, se detallan las diferencias marcadas de las ecuaciones para los diferentes tipos de suelo, incluso para suelos de un mismo grupo textural. Estas discrepancias tienen correspondencia directa con las diferencias en la granulometría y contenidos de materia orgánica que presentan los suelos (Cuadro 1), los cuales se evidencian en los coeficientes de correlación que se muestran en el Cuadro 2.

El nivel de presión logrado mediante la prueba del Proctor estándar es comparable con las presiones de 0,2 a 0,24 MPa ejercidas por los pases sucesivos de un tractor de rueda con peso promedio de 2500 a 2900 kg y con superficie en las cuatro ruedas de 1200 cm<sup>2</sup> (Raghavan et al., 1976). En este sentido, los valores de humedad crítica encontrados en este estudio pueden ser considerados como referenciales a

objeto de recomendar no introducir maquinaria agrícola al campo cuando la humedad del suelo se encuentre cercana o superior a estos valores, debido a que aumentarían los riesgos de compactación.

En el Cuadro 2 se pueden apreciar las asociaciones entre algunas propiedades del suelo y los coeficientes de las ecuaciones, así como también con la humedad crítica y densidad máxima, destacándose los mayores niveles de correlación de la materia orgánica, el limo, la arena con la densidad máxima y humedad crítica. Por otra parte, la MO, L y A presentan una correlación negativa con la densidad máxima y positiva con la humedad crítica. Así también, la arena presenta una correlación positiva con la densidad y negativa con la humedad. En efecto, mayores niveles de materia orgánica y partículas finas contribuyen con menor peso en la estimación de la densidad y aumentan la capacidad de los suelos en almacenar agua; por el contrario, mayores contenidos de partículas gruesas como las arenas contribuyen con mayor peso en la densidad y disminuyen la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (Ohu et al., 1987; Dias, 2000b). Asimismo, se aprecia la relación entre las variables del suelo y los coeficientes que acompañan al componente lineal y cuadrático de las ecuaciones (pendiente de la curva), observándose una correlación negativa de la A, L y MO con dichos coeficientes y una correlación positiva de la arena con ellos.

**Cuadro 1.** Algunas propiedades de los suelos y ecuaciones de regresión para la relación entre la densidad aparente y la humedad según el grupo textural de cuatro series de suelo en Venezuela

Serie	Textura	Distribución de partículas (%)			Materia Orgánica (%)	Ecuación	R <sup>2</sup>	SE	Dmáx (Mg·m <sup>-3</sup> )	Hcrít (%)
		A	L	a						
El Patillal	aF	9	13	78	1,01	$y = 1,6088 + 0,1032x - 0,0057x^2$	0,75	0,051	2,08	9,0
	FL	12	69	19	2,71	$y = 0,2049 + 0,1463x - 0,0038x^2$	0,81	0,028	1,61	19,2
Turén	FAL	38	53	9	3,44	$y = 0,9967 + 0,0718x - 0,002x^2$	0,94	0,011	164	17,9
	F	15	46	39	2,64	$y = 0,8086 + 0,1218x - 0,004x^2$	0,99	0,005	1,74	15,2
	Fa	7	32	61	2,00	$y = 1,429 + 0,0501x - 0,002x^2$	0,84	0,014	1,74	15,5
Valle de Quíbor	FL	18	52	30	2,45	$y = 0,9818 + 0,0898x - 0,0029x^2$	0,80	0,023	1,68	15,5
	FAL	32	50	18	2,79	$y = 0,7371 + 0,0926x - 0,0025x^2$	0,80	0,023	1,59	18,5
Valle Lindo	Fa	4	34	62	7,78	$y = 0,803 + 0,0502x - 0,001x^2$	0,80	0,039	1,37	22,8

y: densidad (Mg·m<sup>-3</sup>); x: humedad (%); Dmáx: densidad aparente máxima; Hcrít: Humedad crítica de compactación  
A: arcilla; L: limo; a: arena; F: franco

Al aumentar los contenidos de A, L y MO la pendiente de la curva es más suave, señalando menor cambio en la densidad por efectos de cambios en la humedad; mientras que mayores contenidos de arena señalan mayores cambios en la densidad para variaciones de la humedad, haciendo la pendiente más fuerte. Mayores contenidos de partículas finas y materia orgánica actúan como agentes cementantes manteniendo unidos los agregados y confiriéndoles una mayor capacidad de soporte a las presiones, por lo que los cambios de densidad son de menor cuantía (Davies, 1985; Soane, 1990). Por otra parte, las

partículas de arena se caracterizan por una alta dispersión, baja cohesión y una mayor capacidad de arreglarse de manera más compacta al ser sometida a presiones, razón por la cual variaciones de humedad producen tasas más altas de densidad (Hillel, 1980). El análisis precedente sugiere que los suelos con mayores contenidos de arena presentan mayor susceptibilidad a compactarse que los suelos con mayores contenidos de partículas finas y materia orgánica; sin embargo, es necesario considerar que en campo los suelos arenosos pierden rápidamente la humedad disminuyendo de esta forma los riesgos de compactación.

**Cuadro 2.** Coeficientes de correlación de algunas propiedades del suelo en función de las variables de la curva de compactación

Propiedades del suelo	Variables de la curva de compactación				
	Dmáx (Mg·m <sup>-3</sup> )	Hcrít (%)	Coeficientes de $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$		
			$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
Arcilla (%)	-0,10	0,10	0,23	-0,25	-0,17
Limo (%)	-0,53	0,55	0,26	-0,67	-0,86
Arena (%)	0,41	-0,43	-0,28	0,58	0,67
Materia Orgánica (%)	-0,83	0,82	0,68	-0,45	-0,35

Dmáx: densidad aparente máxima; Hcrít: Humedad crítica de compactación

**Cuadro 3.** Ecuaciones de regresión lineal simple y múltiple entre algunas propiedades del suelo y variables de la curva de compactación

Variables curva de compactación	Regresión simple				Regresión múltiple				
		$\beta_0$	$\beta_1$	R <sup>2</sup>		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	R <sup>2</sup>
Dmáx	f(A)	1,710	-0,00168	0,01	f(A,MO)	2,017	-0,00406	-0,08618	0,75
	f(L)	1,953	-0,00623	0,28	f(L,MO)	2,169	-0,00558	-0,0789	0,92
	f(a)	1,552	0,00328	0,17	f(a,MO)	1,802	0,00351	-0,0836	0,88
	f(MO)	1,936	-0,0821	0,69					
Hcrít	f(A)	16,136	0,035	0,01	f(A,MO)	10,04	0,0821	1,705	0,73
	f(L)	11,021	0,131	0,31	f(L,MO)	6,750	0,118	1,556	0,92
	f(a)	19,442	-0,0688	0,18	f(a,MO)	14,485	-0,0733	1,655	0,88
	f(MO)	11,686	1,625	0,67					
$\beta_1$	f(A)	0,343	-0,00752	0,06	f(A,MO)	0,667	-0,010	0,091	0,32
	f(L)	0,840	-0,0143	0,45	f(L,MO)	1,041	-0,0137	-0,0073	0,62
	f(a)	-0,116	0,0084	0,34	f(a,MO)	0,137	0,00863	0,0846	0,56
	f(MO)	0,467	-0,0810	0,21					

Dmáx: densidad máxima; Hcrít: humedad crítica;  $\beta_1$ : pendiente de la curva;  $\beta_0$ : término independiente;  $\beta_1$ : tasa de incremento de la primera variable;  $\beta_2$ : tasa de incremento de la segunda variable; A: arcilla; L: limo; a: arena; MO: materia orgánica

En el Cuadro 3 se aprecia como la variable de suelo que mayor efecto tuvo en el comportamiento de la densidad máxima y humedad crítica es el contenido de materia orgánica, dado que explica 69 y 67 %, respectivamente del comportamiento

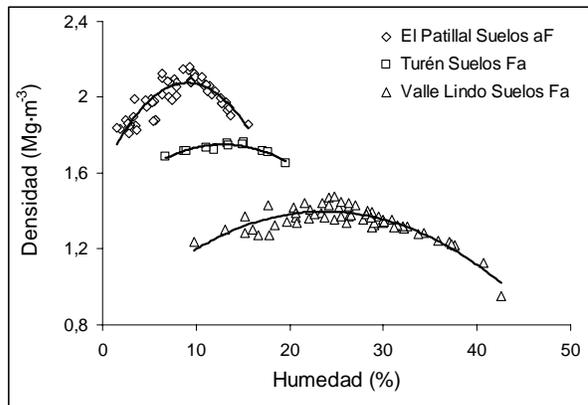
de estas variables. Seguidamente en orden descendente están el limo y la arena. El valor negativo de la tasa de incremento señala que aumentos en los contenidos de MO, L y A disminuyen el valor de densidad máxima y

reducen el valor de la humedad crítica, respectivamente. Así también, el coeficiente lineal de la curva de compactación se afecta en mayor grado por los contenidos de limo, arena y materia orgánica. Finalmente, la regresión múltiple señala que las variables que mayormente inciden en conjunto en la densidad máxima y humedad crítica son la MO-L y MO-a, ya que ambos pares de variables explican aproximadamente el 90 % del comportamiento de las variables de la curva de compactación. Dado el alto valor del  $R^2$ , estas ecuaciones pueden ser empleadas para estimar la densidad máxima y la humedad crítica de compactación para las clases texturales evaluadas en las series de suelo en estudio.

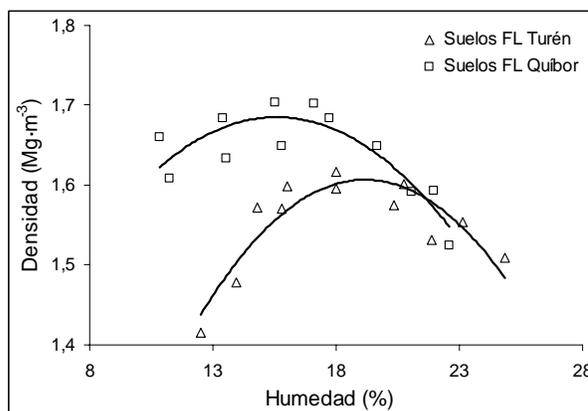
En la Figura 1 se muestran las curvas de compactación de los suelos pertenecientes al grupo de texturas gruesas o livianos, se aprecia como los suelos aF de la serie El Patillal presentan niveles más altos de densidad alcanzados a niveles más bajos de humedad en comparación con los suelos Fa de Turén y Valle Lindo.

Estos resultados están relacionados con los mayores contenidos de arena de los suelos aF en comparación con los suelos Fa (Ohu et al., 1987). Se aprecia también como los altos contenidos de materia orgánica en los suelos Fa de la serie Valle Lindo (Cuadro 1) hacen que estos suelos alcancen menores niveles de densidad a mayores contenidos de humedad, presentando un ámbito de humedad mucho más amplio que los suelos Fa de la serie Turén y ofreciendo mayor disponibilidad de tiempo en condiciones adversas de humedad para la preparación de los suelos.

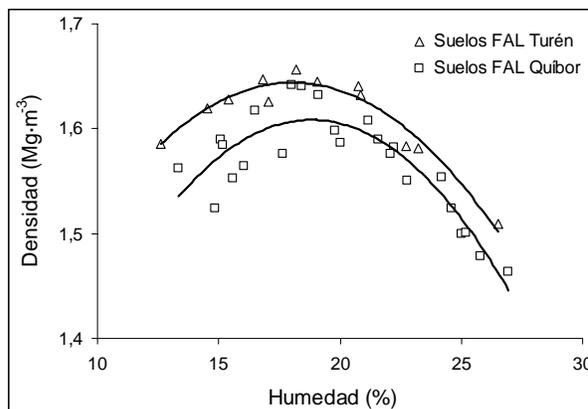
En las curvas de compactación de suelos de las series Turén y Quíbor (Figura 2) se puede apreciar como los suelos FL de Quíbor alcanzan mayores valores de densidad que los suelos FL de la serie Turén. Este resultado probablemente está relacionado con un mayor porcentaje de partículas gruesas de la serie Quíbor en comparación con la serie Turén. Por otra parte, en la Figura 3, donde se muestran los suelos FAL de las mencionadas series, se aprecia que las curvas son muy similares, presentando los suelos FAL de Turén valores de densidad máxima ligeramente más altos que los de la serie Quíbor, lo cual se asocia con mayores contenidos de partículas finas de los suelos FAL de la serie Quíbor, y que incide en que éstos logren valores más bajos de densidad a mayor contenido de humedad.



**Figura 1.** Curvas de compactación de suelos livianos de las series El Patillal, Turén y Valle Lindo



**Figura 2.** Curvas de compactación de suelos franco-limosos de las series Quíbor y Turén



**Figura 3.** Curvas de compactación de suelos franco arcillo-limosos de las series Quíbor y Turén

En la curva de retención de humedad de los suelos representativos de la serie El Patillal y su

ajuste a una ecuación potencial (Figura 4A) se aprecia como la ecuación describe el comportamiento de la curva presentando un alto valor de coeficiente de determinación ( $R^2 = 0,98$ ) e indicando una alta capacidad predictiva de la ecuación. En este sentido, utilizando la ecuación generada  $y=15,879x^{-0,175}$  se estimó el potencial correspondiente al contenido de humedad crítica al despejar el valor de  $x$  ( $x=7166287,9y^{-5,71}$ ) y se encontró un potencial de 25 kPa. Este resultado muestra como el contenido de humedad crítica de los suelos de la serie El Patillal está muy cerca del punto de saturación ( $\psi_p=0$ ). Esta respuesta está relacionada con la propiedad que poseen los suelos arenosos de retener el agua a bajos niveles de tensión presentando un ámbito muy reducido de los contenidos de humedad que éstos pueden almacenar; por esta razón, el porcentaje de humedad correspondiente a la máxima densidad se encuentra cercana al punto de saturación.

En la curva característica de retención de humedad de los suelos FL de la serie Turén (Figura 4B) se aprecia como en comparación con la serie anterior, el ámbito del porcentaje de humedad es más amplio, resultado que está relacionado con los mayores contenidos de partículas finas de la serie Turén. Siguiendo el mismo procedimiento anterior se estimó el potencial correspondiente al contenido de humedad crítica de los suelos (19,2 %), el cual correspondió a 190 kPa, potencial éste que se encuentra muy apartado del punto de saturación ( $\psi_p=0$ ), por lo cual el suelo alcanzará niveles de humedad crítica mucho antes de llegar a la saturación.

Por otra parte, en la curva característica de humedad de la serie Quíbor (Figura 4C) se aprecia como a pesar de corresponder a suelos de un mismo grupo textural (FL) que la serie Turén, los suelos de la serie Quíbor presentan mayores contenidos de humedad para un mismo potencial, resultado que se atribuye a las diferencias en los contenidos de partículas finas, específicamente a los mayores contenidos de arcilla que presenta esta serie (Cuadro 1). Así también, al estimar el potencial correspondiente a la humedad crítica (15,5 %) por el método antes descrito, resultó 611 kPa. Este resultado se encuentra intermedio entre los puntos de máxima y mínima retención de humedad de la curva. La humedad crítica está cercana al valor de humedad que se puede asociar

con el punto de marchitez permanente, señalando que con moderadas precipitaciones el suelo puede alcanzar fácilmente la humedad crítica de compactación. De lo anterior se desprende que los suelos Franco limosos de Quíbor presentarían mayores riesgos de compactación que los suelos de similar granulometría de Turén, debido a que conservan la humedad con mayores niveles de tensión pudiendo alcanzar rápidamente las humedades críticas de compactación, por ejemplo, al inicio de las lluvias.

Finalmente, el potencial correspondiente a la humedad crítica para los suelos de Valle Lindo (22,8 %) fue de 154 KPa. La curva muestra la alta capacidad de retención de humedad que tienen estos suelos (Figura 4D), a pesar de su textura dominada por partículas gruesas, efecto que está en correlación directa con los altos contenidos de materia orgánica que presentan los mismos. Además, se evidencia que los suelos permiten ser trabajados, sin riesgos de compactación, a contenidos cercanos a saturación.

## CONCLUSIONES

Los suelos de textura media (FL) de la serie Valle de Quíbor presentan mayor susceptibilidad a la compactación que los suelos de similar clasificación textural de la serie Turén. Mientras que los suelos livianos (Fa y aF), de los suelos de la serie Valle Lindo presentan la menor susceptibilidad en comparación con los del mismo grupo textural de Valle de Quíbor y Turén.

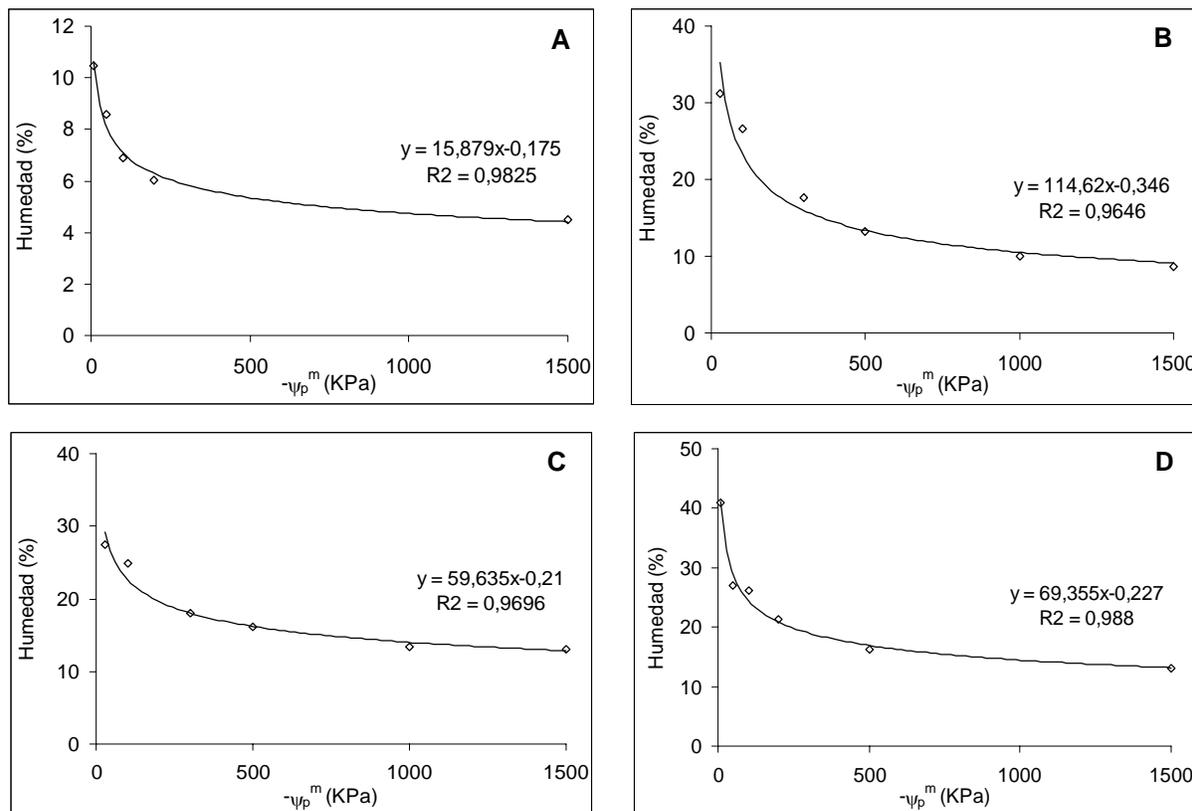
Las series Turén y Valle de Quíbor poseen un predominio de partículas de limo, los cuales predisponen a estos suelos a una compactación superficial y a mayores riesgos de compactación. Por el contrario, los altos contenidos de materia orgánica presentes en la serie Valle Lindo proporcionan propiedades físicas favorables que reducen el riesgo de estos suelos a compactarse.

Las variables edáficas que mayor efecto tuvieron sobre el comportamiento de la curva de compactación y de las variables humedad crítica de compactación y densidad aparente máxima fueron el contenido de materia orgánica, el limo y la arena.

La gran variabilidad de la curva de compactación y de las estimaciones correspondientes de humedad crítica y densidad

máxima, incluso para suelos de un mismo grupo textural, sugieren que el abordaje de estudios de

esta naturaleza en suelos agrícolas debe realizarse en áreas homogéneas o de superficie reducida.



**Figura 4.** Curvas de retención de humedad. A) Suelo areno-francoso de la serie El Patillal; B) Suelo franco-limoso de la serie Turén; C) Suelo franco-limoso de la serie Valle de Quíbor; D) Suelo franco-arenoso de la serie Valle Lindo

### LITERATURA CITADA

- Ball, B.C., D.J. Campbell, J.T. Douglas, J.K. Henshall y M.F.O. Sullivan. 1997. Soil structural quality, compaction and land management. *European Journal of Soil Science* 48(1): 593-601.
- Claverie, J., R. Balbuena, A. Terminiello, J. Casado, E. Manghi y D. Jorajuria. 2000. Compactación inducida por el tráfico de máquinas en suelo forestal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 4(2): 286-289.
- Davies, P. 1985. Influence of organic matter content, moisture status and time after reworking on soil shear strength. *Journal of Soil Science* 36: 299-306.
- Dias, J. 2000a. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de lavras (MG). *Agrot.* 24: 337-346.
- Dias, J. 2000b. Compactação do solo. *Temas em ciência do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo 1: 55-94.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press. London.
- Lebert, M. y R. Horn. 1991. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil & Tillage Research* 19: (2-3): 275-286.
- Nacci, S., Ramos, C. e I. Pla. 2002. Dynamics of the soil physical properties in vineyards highly mechanized of the Anoia-Alt Penedes.

- Region. (Catalunya, Spain). *In*: J.L. Rubio et al. (eds.). *Man and Soil at the Third Millenium*. Edit. Geoforma. Logroño, España.
9. Núñez, M. y E. De Bisbal. 1999. Efecto de la compactación del suelo sobre algunos parámetros morfológicos de desarrollo radical del maíz. *Agronomía Tropical* 49(1): 93-106.
10. Ohu, J.O., M.B. Ayotamuno y O.A. Folorunso. 1987. Compaction characteristics of prominent agricultural soils in Borno State of Nigeria. *Trans. ASAE* 30(6): 1575-1577.
11. Pla, I. y S. Nacci. 2001. Impacts of mechanization on surface erosion on mass movements in vineyards of the Anoia-Alt Penedés Area (Catalonia, Spain). *In*: Scott et al. (eds.). *Sustaining the Global Farm*. Purdue Univ. West Lafayette, IN. pp. 812-816.
12. Raghavan, G.S.V., E. McKyes, I. Amir, M. Chasse y R.S. Broughton. 1976. Prediction of soil compaction due to off-road vehicle traffic. *Trans. ASAE*. 19(4): 610-613.
13. Saini, G.R. y T.L. Chaw. 1984. Compactability indexes of some agricultural soil of new Brunswick, Canadá. *Canada Soil Science* 137(1): 33-38.
14. Soane, B.D. 1980. The role of field traffic studies in soil management research. *Soil & Tillage Research* 1: 205-206.
15. Soane, B.D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. *Soil & Tillage Research* 16: 179-201.