



## Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación

### *Physical properties of several Cuban soils and their use in simulation models*

Greco Cid<sup>1</sup>; Teresa López<sup>1</sup>; Felicita González<sup>2</sup>; Julián Herrera<sup>1</sup> y María Elena Ruiz<sup>3</sup>

**RESUMEN.** En la actualidad se ha hecho muy común la utilización de modelos de simulación en el campo agrícola, con el propósito de estimar, para un amplio espectro de ambientes naturales, el comportamiento de algunas variables que de una forma u otra permiten predecir un rendimiento determinado. Estos modelos por lo general integran un conjunto de modelos matemáticos que dentro de un soporte computacional (software) pueden llegar a predecir el impacto que podría ocasionar un sistema de manejo del suelo sobre el agua en particular y sobre el ambiente en general. Por otra parte la previsión del efecto de los cambios climáticos globales sobre el suelo también es posible a través de estas herramientas. Sin embargo, los mismos requieren de datos de entrada que en ocasiones no están fácilmente disponibles como es el caso de las propiedades físicas de los suelos, y dentro de estas aquellas relacionadas con el funcionamiento hídrico. A esta situación hay que añadir que en ocasiones los datos existen, pero debido al método utilizado en su obtención y la manera en que son expresados, su utilización en los modelos de simulación conduce a resultados que están muy alejados de lo que ocurre realmente en el ambiente natural que se está estudiando. En el trabajo se muestran las propiedades físicas más utilizadas en algunos de los modelos de simulación con los que se ha trabajado en nuestro país, así como su manera de expresarse y el método que se recomienda para su determinación en el campo.

**Palabras clave:** funcionamiento hídrico.

**ABSTRACT.** Today it is very common to use simulation models in agriculture, in order to estimate, for a wide range of natural environments, the behavior of some variables in one way or another to predict a specific performance. These models usually include complex mathematical models in software and may come to predict the impact that could result in a system of land management on water in particular and the environment in general. Moreover, estimation of the global climate change effect on the ground is also possible through these tools. But they require input data that sometimes is not readily available as in the case of the physical properties of soils, and within these, those related to water operation. Sometimes data does exist but because of the method used in collection and the way they are expressed, their use in simulation models leads to results that are far from what actually occurs in the natural environment being studied. The study shows the most used physical properties in some of the simulation models which have been used in our country as well as their manner of being expressed and the recommended method for its determination in the field.

**Keywords:** soil hydric behavior

## INTRODUCCIÓN

La predicción del impacto que podría ocasionar un sistema de manejo del suelo sobre el agua en particular y sobre el ambiente en general es posible hoy en día mediante el uso de la modelación matemática. De igual modo la previsión del efecto de los cambios climáticos globales sobre el suelo es factible a través de estas herramientas, pero la aplicación de las mismas requiere del conocimiento de algunas propiedades básicas ex-

presadas en forma cuantitativa y cuya medida sea repetitiva.

En varios campos de estudio del medio ambiente, la falta de parámetros seguros de las propiedades hidrológicas de los suelos es considerado el mayor obstáculo. Con la obra de Bennett y Allison (1928) primero, y luego con el impulso dado por la revolución al desarrollo del conocimiento de los recursos del país, que permitió la realización de un mapa a escala 1: 50 000 en 1972 y más recientemente al mapa 1: 25 000, se puede afirmar que hay un amplio conocimiento en el país sobre la taxo-

**Recibido** 24/07/10, aprobado 31/03/11, trabajo 24/11, investigación.

<sup>1</sup> Dr.C., Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar km. 2 <sup>1</sup>/<sub>4</sub>, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, Telefax 6911038, E-✉: [greco@iird.cu](mailto:greco@iird.cu)

<sup>2</sup> MSc. Inv., Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), La Habana, Cuba.

<sup>3</sup> Dr.C., Prof. Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Grupo de Agrofísica, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

nomía de nuestros suelos y las características cualitativas, no así con respecto a las propiedades físicas, las cuales aún no han sido ordenadas de modo que sean de fácil uso al interesado.

No obstante, existen publicaciones aisladas, algunas de carácter general (Klimes *et al.*, 1980) y otras dedicadas a temas específicos (Nakdidze *et al.*, 1972; Herrera *et al.*, 2001). En Cuba, muchas instituciones han trabajado de modo general o con fines específicos en la determinación de las propiedades físicas e hidráulicas de los suelos, sin embargo no existe un criterio común de los términos a utilizar, ni de cómo expresarlos.

En ocasiones se puede observar en la literatura nacional que existe una falta de homogeneidad en la terminología utilizada y en la forma de expresar determinadas propiedades. Esto puede traer como consecuencia que trabajos encaminados a describir un mismo fenómeno parezcan al lector que se trata de cuestiones diferentes. También puede suceder lo contrario, es decir, la descripción de procesos diferentes pueden dar la impresión que se trate de un mismo fenómeno.

### Importancia de la modelación en una agricultura e regadío

El mejoramiento del manejo del agua en sistemas agrícolas irrigados debe basarse esencialmente en un mayor conocimiento de los mecanismos que rigen las transferencias hídricas y de solutos dentro del sistema agua-suelo-planta-atmósfera en relación con las prácticas culturales.

El desarrollo y uso de los modelos matemáticos para la simulación y predicción del movimiento del agua en los suelos ha sido prolífero en las últimas décadas. Esto está relacionado con la necesidad de desarrollar soluciones para diferentes problemas de manejo agrícola y medioambiental tales como estrategias de riego, diseño de sistemas de drenaje y la polución de las aguas superficiales y subterráneas.

### La experiencia cubana

Diferentes instituciones en Cuba han realizado trabajos para precisar las necesidades hídricas de los cultivos y encontrar el manejo óptimo del riego que garantice un máximo de rendimiento. Estos trabajos han permitido estudiar en una primera aproximación la dinámica del agua en estos suelos para diferentes cultivos, lo que proporcionó una amplia información en cuanto a los requerimientos de agua de las plantas.

Así son los casos de los trabajos de Ruiz, (1997) y López *et al.* (2001) dirigidos a la cuantificación precisa de los elementos del balance hídrico sobre la base de las leyes generales que rigen el movimiento del agua en el suelo, en los que alertaban sobre la necesidad de recurrir a la modelización. También hay que añadir los casos del SWATCROP y el SWATRE, para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) evaluado y validado por Ruiz, (1997); mientras que López, (2002) validaron el STICS Brisson *et al.* (1997) y Rodríguez y López (2000<sub>a</sub>) el modelo MACRO (Jarvis, 1996) para la obtención del balance hídrico del suelo. También Rodríguez y López (2000<sub>b</sub>), mediante el empleo de un SIG, demostraron lo acertado del uso de estas herramientas para la planificación de los recursos en la operación de un sistema de riego en arroz.

### Características físicas de los suelos más frecuentemente utilizadas en los modelos de simulación empleados y calibrados en Cuba, forma de expresarlas y métodos de determinación

En la Tabla 1 se relacionan las propiedades físicas y otros parámetros de los suelos que comúnmente constituyen las entradas de los modelos de simulación, la manera en que se expresan y cómo se determinan y a continuación el significado de cada característica o parámetro. En la Tabla 2 se resume la utilización de estos diferentes términos en los modelos de simulación más utilizados en Cuba.

**TABLA 1. Propiedades físicas y otros parámetros de suelos utilizados en modelos de simulación**

PROPIEDADES	UNIDAD	MÉTODO DE DETERMINACIÓN
Distancia de difusión efectiva.	mm	Test de Henin
Conductividad hidráulica frontera	mm /día	Método de Hoyo de Barrena
Humedad volumétrica frontera	% Vol.	Método Gravimétrico
Factor de tortuosidad	-	Exponente "n" modelo Brooks y Corey
Tensión del agua frontera	cm	Caja de Arena y Kaolin-Arena
Conductividad hidráulica saturada	mm/hora	Método de anillos infiltrómetros.
Humedad de saturación	% Vol	Método gravimétrico
Índice distribución tamaño de poros	-	Curvas Características
Pendiente de la curva de encogimiento	-	Curvas de Encogimiento
Espesor de la capa de suelo	cm	
Humedad a la capacidad de campo.	% peso	Método de la Plazoleta
Humedad Punto de marchitez permanente.	% peso	Curvas Características
Densidad Aparente.	g/cm <sup>3</sup>	Anillos, Parafina o Petróleo
Contenido de arcilla	%	Pipeta de Robinson
Contenido de arena	%	Pipeta de Robinson
Contenido de limo	%	Pipeta de Robinson
Humedad Total aprovechable por las plantas (LSAD – LIAD)	mm/m	Fórmula
Tasa máxima de infiltración	mm/día	Método de anillos infiltrómetros
Profundidad máxima de enraizamiento	cm	Depende del tipo de cultivo
Humedad Inicial	%	Método gravimétrico
Humedad Inicial Aprovechable	mm/m	Método gravimétrico
Coefficiente de Drenaje	-	Método de la Plazoleta

## MATERIALES Y MÉTODOS

A partir de un diagnóstico se identificaron 12 perfiles considerando diferentes zonas edafoclimáticas donde potencialmente pudiera existir una producción de cereales y se pudieran presentar condiciones de sequía en un futuro, según la Clasificación Agroproductiva de los suelos de Cuba (Mesa y Suárez, 1978). La relación de suelos se presenta según la última clasificación de suelos vigente en el país, (Hernández, *et al.* 1999).

Para la creación de la base de datos de propiedades físicas e hidrofísicas de los perfiles identificados se recopiló toda la información existente al respecto en el antes Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje hoy Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.

Después de una revisión profunda de dicha información se confeccionó una relación de aquellas propiedades que requerirían una comprobación *in situ*, a consecuencia de las modificaciones que sufren en el tiempo debido al uso agrícola continuado. Para ello se estableció una estrategia que consistió en la selección de puntos de control en los mismos escenarios donde se realizaron los estudios iniciales, permitiendo de esta forma obtener datos mucho más precisos, de aquellas propiedades que tienden a cambiar de manera notable cuando es modificada su estructura. La metodología utilizada en los trabajos

realizados se apoyó en los trabajos de Cid (2004 y 2006).

Las propiedades estudiadas fueron las siguientes:

- Profundidad en cm
- Densidad Aparente o Peso Volumétrico en  $g \cdot cm^{-3}$
- Límite Superior Reserva Fácilmente Utilizable (llamada Capacidad de Campo) en  $cm^3 \cdot cm^{-3}$
- Arena en %
- Arcilla en %
- Limo en %
- Tasa de Drenaje en  $m \cdot día^{-1}$
- Límite Inferior de la Reserva Fácilmente Utilizable (comúnmente llamado Límite Productivo y que en este caso consideramos como el 80% del límite superior de la RFU) en  $cm^3 \cdot cm^{-3}$
- Suelo Saturado en  $cm^3 \cdot cm^{-3}$
- Conductividad Hidráulica Saturada en  $cm \cdot h^{-1}$

La densidad aparente fue determinada para una humedad cercana al Límite Superior de la Reserva Fácilmente Utilizable (RFU) considerando que algunos de los suelos estudiados contienen arcillas dilatables, en los que el nivel de humedad ejerce una influencia grande en los valores de la densidad.

El Límite Superior de la RFU, llamada comúnmente Capacidad de Campo, se determinó por el método de la Plazoleta.

**TABLA 2. Resumen de la utilización de términos y propiedades del suelo en los modelos de simulación más aplicados en Cuba**

PROPIEDADES	UM	MACRO	STICS	MODELOS	
				SWAP	DSSAT
Distancia de difusión efectiva	mm	X			
Conductividad hidráulica frontera	$mm \cdot día^{-1}$	X			
Humedad volumétrica frontera	% Vol.	X		X	
Factor de tortuosidad	-	X			
Tensión del agua frontera	cm	X			
Conductividad hidráulica saturada	$mm \cdot h^{-1}$	X		X	X (cm/h)
Humedad de saturación	% Vol.	X		X	X $cm^3/cm^3$
Índice de distribución de tamaño de poros	-	X			
Pendiente de la curva de encogimiento	-	X			
Contenido de arcilla en la capa superficial del suelo	%		X		X
Espesor de la capa de suelo	cm		X		
Humedad a la capacidad de campo	% peso		X		
Humedad al límite de marchitez permanente	% peso		X		
Densidad Aparente	$g \cdot cm^{-3}$		X		
Contenido de arcilla	%				
Contenido de arena	%				X
Contenido de limo	%				X
Humedad Total aprovechable por las plantas (Cc – PMP)	$mm \cdot m^{-1}$			X	
Taza máxima de lluvia infiltrada	$mm \cdot día^{-1}$			X	
Profundidad máxima de enraizamiento	cm			X	X
Humedad Inicial (en % de la Humedad Total Aprovechable)	%			X	X
Humedad Inicial Aprovechable	$mm \cdot m^{-1}$			X	
Punto de Marchitez Permanente (PMP)	% Vol.			X	X
Humedad a Capacidad de Campo	% Vol.				X $cm^3/cm^3$
Tasa de Drenaje	$m \cdot día^{-1}$				X
Límite Superior de la Reserva Fácilmente Aprovechable	$cm^3 \cdot cm^{-3}$				X
Límite Inferior de la Reserva Fácilmente Aprovechable	$cm^3 \cdot cm^{-3}$			X	X

La granulometría fue determinada por el Método de la Pipeta de Robinson.

Para el caso de la Tasa de Drenaje, se escogió el valor de la Velocidad de Infiltración Básica, independientemente del método de determinación seleccionado.

Por su parte los valores de Conductividad Hidráulica Saturada se determinaron en aquellos suelos con manto freático cerca de la superficie por el método del Hoyo de Barrena (Auger Hole), Van Beers, (1983), mientras que para los suelos con muy buen drenaje y manto freático profundo se utilizó el método del Permeámetro con carga constante (Eijkelkamp, 1998).

El Límite Inferior de la Reserva Fácilmente Utilizable (RFU), comúnmente llamado Límite Productivo, se consideró como el 80% del Límite Superior de la RFU o Capacidad de Campo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado fundamental de este trabajo es la creación de una base de datos de propiedades físicas e hidrofísicas que constituyen datos imprescindibles de entrada en la mayoría de los modelos de simulación utilizados en Cuba. En la Tabla 3 aparecen los resultados de las propiedades físicas estudiadas en 12 perfiles de suelos donde se han utilizado modelos de simulación en nuestro país.

De manera general los resultados obtenidos respecto a las características granulométricas (textura), coinciden con los reportados por otros autores. Esta propiedad comúnmente no se modifica mucho por la acción antropogénica.

En relación a las propiedades que definen en gran medida los flujos de agua y aire del suelo, así como la capacidad de los mismos de retener humedad, los resultados no coinciden con los expuestos por otros autores para estos mismos suelos.

La razón fundamental de esta diferencia está dada, en esencia, por problemas metodológicos, sobre todo en lo referente al nivel de humedad existente en el momento de la toma de muestras y la forma en que se tomaron las muestras, que en su gran mayoría fueron inalteradas, sobre todo en los suelos con arcillas dilatables.

También se introdujeron algunas modificaciones en las barrenas utilizadas para los estudios de la conductividad hi-

dráulica saturada.

Resulta necesario recalcar que los términos utilizados para las propiedades hidrofísicas que demandan la mayoría de los modelos, son los utilizados en la literatura internacional especializada en Física de Suelos. Esto es importante ya que permite comparar la información obtenida en nuestro país con la de otras partes del mundo.

La metodología utilizada en el procesamiento e interpretación de los datos de campo se apoyó en los trabajos de Cid (2004 y 2006).

## CONCLUSIONES

- Es incuestionable la importancia de los modelos de simulación para la planificación y toma de decisiones en la gestión agrícola para diferentes escalas, al predecir, con bastante exactitud, los rendimientos esperados y por ende los recursos necesarios para lograrlo. Sin embargo la poca información por una parte y la heterogeneidad de la misma por otra, en ocasiones impiden hacer un uso eficiente de estas potentes e imprescindibles herramientas. Los resultados expuestos en este trabajo pueden contribuir a salvar en gran medida los inconvenientes antes mencionados y pueden resultar una valiosa ayuda para los investigadores especialistas y proyectistas que trabajan en el campo agrícola.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENNETT, H. M., R.V. ALLISON: *Los Suelos de Cuba y Algunos Suelos de Cuba*, Ediciones R., 1929, La Habana, 1929
- BRISSON NADINE: *Notice utilisateur. Modele STICS*, INRA. AGPM-Agrotransferts-CETIOM-CIRAD-ITCF, (Estación Agropedoclimática del INRA en Guadeloupe, CRAG, France, 1997.
- BROOKS, R.H. and A.T. COREY: *Hydraulic properties of porous media*, 27pp., Colorado STATE University, Hydrological Paper No. 3, USA, 1964.
- CID, G.: "Metodología para el manejo hidropedológico de los suelos con arcillas dilatables en Cuba. Parte I: Parámetros fundamentales para la caracterización física de los suelos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(3): 7-12, 2004.
- CID, G.: "Parámetros fundamentales para la caracterización hidropedológica general de los suelos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(3): 7-12, 2006.
- EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT: *Soil laboratory equipment*, 65pp., Laboratory permeameters, The Netherlands, 1998.
- HERRERA, J., G. LÓPEZ, M.E. RUIZ y G. CID: Agrupamiento hidrológico de los suelos cubanos. En: **Memorias XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo**, 11-16 Noviembre 2001, Matanzas, Cuba, 2001.
- HERNÁNDEZ, A.; J.M. PÉREZ; D. BOSCH y L. RIVERO: *Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*, 64pp., Edit. AGRINFOR, La Habana, Cuba, 1999.
- JARVIS, N.: *The MACRO Model (Version 3.2)*, *Technical Description and Sample Simulation*, 51pp., Monograph 19, Depart. Soil Sci., Swedish Univ. Agric. Sci., Uppsala, Sweden, 1996.
- KLIMES, A.S., O. SUAREZ, A. MESA y J. PENA: *Suelos de Cuba*, 328pp., Tomo II, Física del Suelo, Editorial Orbe, La Habana. 1980.
- LÓPEZ, T.; G. DUEÑAS; J. SIERRA; H. OZIER LAFONTAINE; F. GONZÁLEZ; E. GIRALT, Y CHATERLÁN y G. CID: "Simulación del manejo del riego y la fertilización nitrogenada del maíz sobre suelo Ferralítico del sur de La Habana", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10(3): 59-65, 2001.
- LÓPEZ, T.: *Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del sur de La Habana: Contribución metodológica al procedimiento actual para la determinación de los Balances Hídricos*, 110pp., **Tesis (en opción al título de Doctor en Ciencias Agrícolas)**, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, Cuba, 2002.
- MESA, A y O. SUÁREZ: *Estudios realizados acerca de las clasificaciones agroproductiva*, 36pp., Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes, Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba, 1978.
- NAKDIDZE, E.K. y R.F. SIMEON: "Características hidrofísicas de los principales suelos de Cuba", *Voluntad Hidráulica*, 10(23), 1972.
- RAES, D; P. STEDUTO; T.C. HSIAO and E. FERERES: *AquaCrop-Crop Water Productivity Model, versión 3.1*, FAO, Land and Water Division, Rome, Italy, 2010.
- RODRIGUEZ, J.A. y T. LÓPEZ: "Validación y análisis de sensibilidad del modelo MACRO en un suelo Orthic ferrasol del sur de La Habana", *Investigación Agraria. Serie Producción y Protección Vegetal*, 15(3): 47-55, 2000.
- RODRIGUEZ, J.A. y T. LÓPEZ: "Planificación de recursos para la modernización de los sistemas arroceros mediante el empleo de modelos de simulación y SIG", *Investigación Agraria. Serie Producción y Protección Vegetal*, 15(1-2):17-30. 2000.
- RUIZ, M.E.: *Utilización del modelo Swacrop en la simulación del uso del agua y el rendimiento de la papa (Solanum Tuberosum l.c.v. Desiree) en suelos ferralíticos rojos*, 101pp., **Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas)**, La Habana, Cuba, 1997.
- SMITH, M.: *CROPWAT a computer program for irrigation planning and management*, 128pp., Irrigation and Drainage Paper 46, FAO, Rome, Italy, 1992.
- VAN BEERS, W. F. J.: *The auger Hole methods, a field measurement of the hydraulic conductivity of soil below the water table*. VI Edition, ILRI. Bulletin No. 1, Wageningen, The Netherlands, 1983.

**ANEXO 1. Propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos seleccionados**

**Nota:** Los suelos están identificados de acuerdo a la última Clasificación de Suelos establecida en el país (Hernández, *et al.* 1999)

Prof Cm	SBDM Da g·cm <sup>-3</sup>	SDUL Cc cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup>	SLCF Arena %	SLCL Arcilla %	SLSI Limo %	SLDR Inf. Básica m·día <sup>-1</sup>	SLLL Límite Prod cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup>	SSAT Suelo Satur. cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup>	SSKS K sat cm·h <sup>-1</sup>
<b>Alítico amarillento de baja actividad arcillosa típico</b>									
20	1,30	0,161	88,2	6,6	5,2	1,4	0,127	0,386	6,2
60	1,45	0,176	80,9	14,4	4,7	1,2	0,140	0,431	5,3
100	1,57	0,264	57,1	30,5	12,4	0,5	0,211	0,394	2,9
<b>Alítico amarillento de alta actividad arcillosa típico</b>									
20	1,42	0,207	87,2	6,2	6,6	2,6	0,166	0,393	1,6
40	1,58	0,219	86,7	6,3	7,0		0,175	0,344	
60	1,55	0,279	76,6	13,9	7,5	4,7	0,225	0,341	2,9
100	1,50	0,339	56,1	35,7	8,2	0,2	0,271	0,405	0,1
<b>Ferralítico Rojo típico.</b>									
20	1,11	0,374	34,5	39,0	26,5	1,9	0,299	0,517	45,0
40	1,20	0,413	35,5	38,5	26,0		0,330	0,594	
60	1,20	0,408	41,0	37,6	21,4		0,326	0,474	8,1
80	1,25	0,421	31,7	39,6	28,7		0,337	0,434	
100	1,30	0,425	30,0	37,0	33,0		0,340	0,478	38,0
<b>Ferralítico Rojo húmico</b>									
20	1,19	0,405	26,3	57,7	16,0	0,6	0,324	0,536	2,0
40	1,21	0,411	27,1	57,4	15,5		0,329	0,532	1,9
60	1,21	0,396	17,8	72,6	9,6		0,317	0,513	5,4
80	1,23	0,400	14,3	77,9	7,8		0,320	0,480	5,2
100	1,24	0,373	16,0	77,0	7,0		0,298	0,453	0,3
<b>Fersialítico pardo rojizo mullido</b>									
20	1,04	0,345	41,2	35,3	23,5	1,5	0,276	0,618	3,9
40	1,00	0,320	45,1	34,9	20,0	0,8	0,256	0,617	6,6
60	1,18	0,288	47,2	31,4	21,4	0,03	0,230	0,617	0,13
80	1,26	0,302	47,8	29,9	22,3	0,01	0,242	0,497	0,04
<b>Pardo sialítico cálcico</b>									
20	1,31	0,424	51,8	27,2	21,0	2,1	0,339	0,520	8,1
40	1,35	0,414	51,2	29,0	19,8	0,7	0,331	0,500	1,8
80	1,35	0,405	60,9	26,2	12,9	3,1	0,324	0,500	23,8
<b>Vertisol pélico típico.</b>									
20	0,926	0,587	12,5	64,5	23,0	0,43	0,470	0,639	1,5
60	1,08	0,519	13,1	63,1	23,8	0,17	0,415	0,590	0,9
80	1,08	0,481	8,6	72,6	18,8	0,17	0,385	0,592	0,7
<b>Vertisol pélico mullido</b>									
20	0,94	0,499	24,2	60,0	15,8	1,12	0,399	0,647	0,5
60	1,02	0,455	23,5	63,2	13,3		0,364	0,614	0,3
80	1,15	0,491	24,4	68,1	7,5		0,393	0,565	0,3
<b>Vertisol crómico mullido</b>									
20	1,03	0,518	16,8	63,1	20,1	0,3	0,414	0,620	1,32
50	0,97	0,497	20,1	57,8	22,1		0,410	0,640	1,26
95	1,02	0,506	23,6	55,1	21,3		0,405	0,620	1,29
<b>Vertisol crómico cálcico</b>									
20	1,06	0,745	19,5	67,0	13,5	1,03	0,596	0,793	3,6
40	1,07	0,770	19,6	68,5	11,9		0,616	0,829	3,1
60	1,07	0,793	20,3	68,9	10,8		0,634	0,835	2,3
80	1,11	0,738	18,4	70,4	11,2		0,590	0,861	2,1
100	1,16	0,737	19,6	70,0	10,4		0,590	0,831	1,8
<b>Hidromórfico gley vértico típico.</b>									
20	1,03	0,506	15,83	60,63	23,54	1,4	0,405	0,600	3,0
50	1,02	0,522	14,69	62,62	22,69		0,418	0,610	2,5
90	1,02	0,502	16,40	63,79	19,81		0,402	0,610	2,7
<b>Hidromórfico gley vértico mullido</b>									
20	1,06	0,440	8,1	76,9	15,0	1,8	0,352	0,543	4,9
70	1,08	0,505	3,7	83,9	12,4		0,404	0,588	3,2
105	1,12	0,554	6,9	84,3	8,8		0,443	0,614	1,4

**LEYENDA:**

- Prof:** Profundidad en *cm*
- SBDM:** Densidad Aparente o Peso Volumétrico en *g·cm<sup>-3</sup>*
- SDUL:** Límite Superior de la Reserva Fácilmente Utilizable (comúnmente llamada Capacidad de Campo) en *cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>*
- SLCF:** Arena en %
- SLCL:** Arcilla en %
- SLSI:** Limo en %
- SLDR:** Tasa de Drenaje en *m·día<sup>-1</sup>*
- SLLL:** Límite Inferior de la Reserva Fácilmente Utilizable (comúnmente llamado Límite Productivo) en *cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>*
- SSAT:** Suelo Saturado en *cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>*
- SSKS:** Conductividad Hidráulica Saturada en *cm·h<sup>-1</sup>*