

## **Indice numerico para caracterizar las condiciones fisico-mecanicas de las operaciones de la labranza de tierra en suelos de importancia agropecuaria en Cuba**

A. KLIMES-SZMIK

*Instituto de Edafologia y Agroquimica de la Academia de Ciencias Hungara, Budapest*

De la consistencia del suelo más subsuelo (hasta 30 cm apr. de profundidad) en estado moderadamente humedo depende la calidad de las operaciones de labranza al preparar la tierra para la siembra, y por lo tanto, tiene gran importancia agricola.

Desde hace cuarenta años ya que CRAWLEY [3], en aquellos tiempos Director de la Estación Experimental Agricola de Santiago de las Vegas, reconoció la dificultad de atacar los problemas introducidos en las operaciones agricolas por la variación del suelo, aunque hizo numerosos análisis de muestras de los suelos cubanos. Por tanto BENNETT [1, 2] y sus colaboradores prestaron mucha atención durante el mapeo de suelos en Cuba a aquellos fenómenos y características fisico-mecanicas que están estrechamente relacionados con la calidad de las operaciones de labranza de la tierra siendo los más importantes de estos la plasticidad y la friabilidad de los suelos. En su excelente libro incluye en la descripción de los perfiles típicos la evaluación de valiosas observaciones hechas durante los levantamientos de planos en cuanto al comportamiento fisico-mecanico de los suelos en los extremos del contenido de humedad. Todavía en el campo sistemáticamente se determinó la friabilidad del suelo por tacto y en base de las informaciones correspondientes ha sido elaborado un sistema práctico de los mismos. Baje el titulo „Clave de los principales suelos de Cuba” fue incluido en la obra citada más arriba.

A pesar de esto se puede hacer constar de que aunque se había acumulado un material muy amplio en cuanto a la friabilidad de los suelos cubanos, las informaciones obtenidas tienen más caracter cualitativo que cuantitativo.

No cabe duda ninguna que los factores principales que determinan la friabilidad son: 1. el contenido de materia orgánica humificada, 2. la textura, y 3. los cationes intercambiables de los suelos. Debido a la circunstancia que poseemos gran cantidad de indices numericos refiriendose a varias características quimicas y fisicas de suelos cubanos, pensamos en explotarlas para la evaluación cuantitativa de estos tres factores en relación con la friable y/o firme consistencia de los mismos.

Luego discutiremos por separado estos factores con el fin de hallar una fórmula apropiada la cual reflejara el papel que tienen los mismos en la formación de la consistencia.

### Contenido de materia orgánica humificada

La fuente principal de la materia orgánica (M.O.) es la cantidad enorme de los restos de raíces (principalmente de la vegetación herbácea) la cual permanece y muere todos los años en el suelo y subsuelo respectivamente. Mediante procedimientos microbianos se descompone la mayor parte de éstas y van a suministrar elementos nutrientes en forma asimilable para las plantas y sólo la pequeñísima parte contribuirá al aumento del contenido de materia orgánica humificada del suelo. La cantidad del humus en suelos cultivados es el resultado de un equilibrio el cual se ha sido establecido en un nivel definido dependiendo de la fase sólida inorgánica del suelo y el clima del ambiente.

La materia orgánica ya una vez humificada se encuentra en las siguientes formas en el suelo:

- a) sales de los ácidos húmicos (estos son los llamados humatos),
- b) geles de materia orgánica en mezcla con aquellos de hidróxidos y óxidos de hierro y aluminio en distintas proporciones,
- c) complejos de materia orgánica formados con compuestos inorgánicos del tamaño de las fracciones arcilla y limo.

En base de la enumeración anterior se puede decir que la acumulación de la materia orgánica (durante el procedimiento de la formación del humus) ésta sujeta a las leyes de la adsorción. Puede averiguarse esto si se dá una mirada al gráfico I elaborado por nosotros. En la parte *a*) del mismo representamos la materia orgánica (expresada en % base suelo seco) en relación a las clases texturales de los suelos cubanos investigados por nosotros, refiriéndose la curva 1 al suelo (0—14/16 cm) y la curva 2 al subsuelo (14/16—30/37 cm). Ambas curvas tienen el mismo carácter aumentando desde las arenas hasta las arcillas pesadas siendo este aumento más expresado en la región de los suelos ligeros que en la de los pesados.

La parte inferior (*b*) del mismo gráfico representa las mismas relaciones que la superior (*a*) con la única diferencia que el contenido de la materia orgánica lo expresamos ésta vez en % de las fracciones arcilla más limo; hemos representado entonces, valores específicos (H, %) siendo la fórmula correspondiente, como sigue:

$$H = \frac{100 \times \text{M.O.}}{A + L}, \% \quad (1)$$

donde:

- M.O. = % de materia orgánica, base suelo seco,  
 A = % de la fracción arcilla,  
 L = % de la fracción limo.

Las curvas (1 y 2) que resultan tienen un carácter opuesto a aquel de las curvas que figuran en la parte superior (*a*) del gráfico I. Desde su máximo punto en la región de las arenas marcadamente bajan hasta convertirse en una línea recta paralela al eje de las abscisas.

Parece ser contradictorio que se acumule en las arenas relativamente más materia orgánica que en los suelos pesados más ricos en material apto para la fijación de la misma por adsorción. Pero la ley fundamental de la adsorción dice que pequeñas cantidades de cualquier adsorbente fijan siempre relativamente más del adsorptivo que grandes. Ésta ley fisico-química se

manifiesta en el caso de la acumulación de la materia orgánica en suelos también. Por lo tanto se considera motivado caracterizar el contenido de humus por la fórmula (1).

El contenido de materia orgánica es un índice natural de los suelos cuyo valor prácticamente no puede modificar el hombre. La aplicación de abonos orgánicos y/o la incorporación de material verde no mejorarán para largo tiempo la consistencia del suelo, más bien suministrarán por su descomposición elementos nutrientes para las plantas. Entonces su efecto beneficioso será más de carácter químico-biológico.

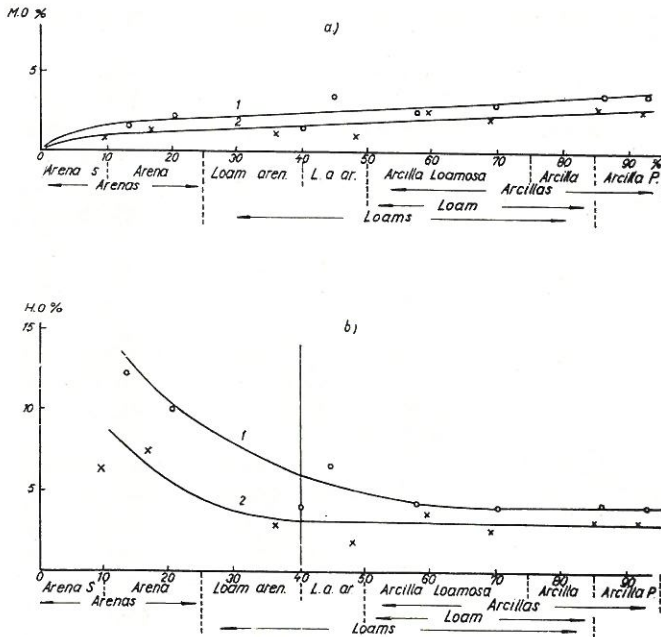


Gráfico 1

Acumulación de la materia orgánica (M. O.) caracterizada por el % b. s. s. (Parte a) y el % de las fracciones arcilla más limo (Parte b) en el suelo (curva 1) y subsuelo (curva 2) respectivamente, en función de las clases texturales de los suelos. Abreviaturas: s = suelta, aren. = arenoso, L = loam, a = arcilloso, ar = arenoso, p = pesada

### Textura del suelo

El segundo factor también del cual en alto grado depende la consistencia del suelo es su textura, o sea, la composición granulométrica del mismo. Desde el punto de vista nuestro el papel más importante lo tiene la cantidad relativa de las fracciones arcilla (A) y limo (L) y se expresa por la relación L/A.

Las arenas y loams arenosos poseen siempre consistencia suelta por la mayor acumulación de materia orgánica. Componen de partículas separadas unas de las otras y por lo tanto tampoco tienen estructura. Desde los loams arcilloso-arenosos pueden detectarse los inicios de la estructuración del suelo llegando a su máximo desarrollo en las arcillas.

La consistencia de los loams y arcillas marcadamente varía entre límites muy amplios dependiendo, entre otros factores, de la relación L/A siendo mejor si ésta es más alta y al revés. La experiencia hecha en investigaciones de varios años nos dice que era así en todos los casos cuando la relación L/A resulta inferior o igual a 1. Si es superior a 1 ya no influye más en las condiciones de la consistencia.

La textura de los suelos es también un factor natural la cual el hombre económicamente no puede cambiar.

### La proporción de los cationes metálicos intercambiables

El único de los tres factores principales que intervienen en la formación de la consistencia de suelos al cual el hombre puede modificar en caso necesario, por uno u otro tipo de enmienda química, es la proporción de los cationes intercambiables.

Se considera normal esta proporción en el caso de que la cantidad relativa (expresada en % del valor de S) de los cationes adsorbidos sea la siguiente:

Calcio: 75  
Magnesio + Sodio: 20  
Potasio: 5

Esta proporción corresponde a la considerada correcta desde el punto de vista de la nutrición de las plantas [4] también.

Si se toma en cuenta que el potasio, por su poca cantidad, no cuenta, la fórmula la cual caracteriza la proporción de los demás tres cationes cambiables (PCC) será como sigue:

$$PCC = \frac{Ca}{3.75 Mg + Na}, \quad (2)$$

y para el caso de la proporción correcta de los cationes:

$$PCC = \frac{75}{3.75 \times 20} = 1.$$

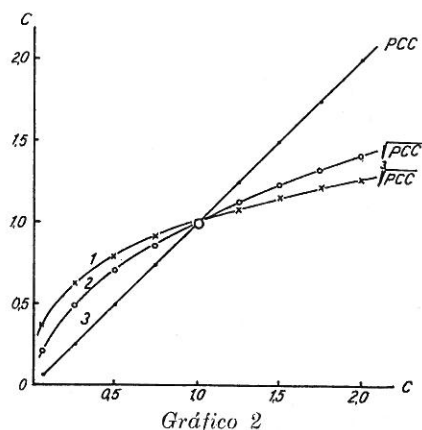


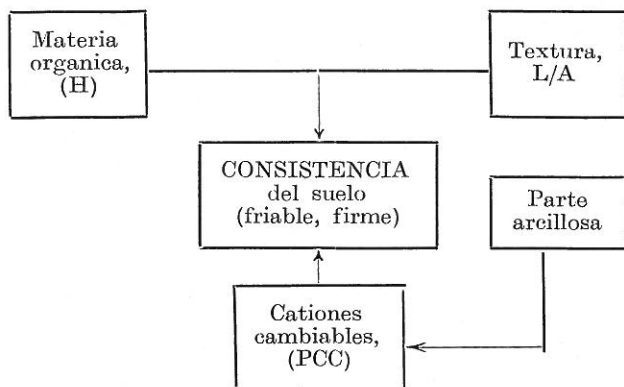
Gráfico 2  
Representación de los valores de la proporción de los cationes cambiables (PCC) en función del factor C para los suelos arenosos (curva 1), loams (curva 2) y arcillas (curva 3)

La práctica nos enseña que cuando la cantidad de los cationes de Ca resulta superior a 75% del valor de S ya poco mejora más la consistencia del suelo. Por lo tanto su máximo valor se toma igual a 2, independientemente de que el valor de la PCC fuese en algunos casos superior a 2. En los suelos cubanos el valor de la PCC varía entonces de 0,05 a 2.

En base de cuatro años de investigaciones detalladas realizadas en el Laboratorio de Suelos del INRA se hace constar que la mayoría de las series de suelos contiene elevadas cantidades de magnesio cambiante y en el caso de que su proporción era superior a 10–15% del valor de S influye en el sentido negativo en la formación de la consistencia de los suelos. Muy poco o nada se puede leer en la literatura correspondiente sobre este comportamiento del

magnesio. Para conocer la motivación correcta del fenómeno hicimos investigaciones especiales y resultó [4] que el magnesio junto al sodio mediante el aumento de la plasticidad de la parte arcillosa del suelo empeora las condiciones de la consistencia.

Luego se ofrece la representación esquemática de los tres factores y el caracter de su intervención en la formación de la consistencia de los suelos cubanos:



**Coefficiente de la consistencia**

El indice numerico elaborado por nosotros para caracterizar la consistencia de los suelos se llama coeficiente de la consistencia ( $C_c$ ) y lo expresa, en base de las consideraciones anteriores, la siguiente fórmula:

$$C_c = H.L/A.C \tag{3}$$

donde: H = cantidad de la materia orgánica en %, referida a las fracciones arcilla más limo,

L/A = la proporción Limo/Arcilla,

C = un factor cuyo valor varía según la magnitud del valor de S (vease la tabla 1).

Tabla 1

**Variación del valor numerico del factor C en relación da la textura y valor de S de los suelos**

Clases texturales	Valor de S me/100 gr	Factor C
Arenas	< 5	No parece en la fórmula
Suelos arenosos	< 15	$\sqrt[3]{PCC}$
Loams y arcillas	15—30 > 30	$\sqrt{PCC}$ PCC

Sin embargo no sólo la proporción sino las cantidades absolutas de los cationes intercambiables en cuestión también influyen en las condiciones de la consistencia de los suelos. Esta circunstancia se refleja en la relación empírica establecida entre el orden de magnitud del valor de S y el valor calculado del factor C correspondiente.

Representamos además en el gráfico 2 las curvas de las PCC para los distintos grupos de suelos en función del factor C. Se ve muy bien que el valor numérico del mismo factor calculado para las arcillas influye marcadamente en el coeficiente de la consistencia (siendo proporcional al  $C_c$ ). Mientras así, su influencia es menor en el caso de los loams y suelos arenosos. Sólo en el caso de que la PCC sea correcta (si es igual a 1) la misma no figura en la fórmula (3).

Entonces, la fórmula (3) se aplica en casos definidos en forma simplificada y fuera del caso que acabamos de discutir, estos son los siguientes:

$$C_c = H \quad (3a) \text{ arenas y parcialmente los suelos a arenosos,}$$

$$C_c = H.C \quad (3b) \text{ la mayoría de los loams.}$$

A continuación se ofrecen unos ejemplos para los cálculos del  $C_c$ . En la tabla 2 figuran los datos que sirven de base a los mismos y en la tabla 3 los cálculos correspondientes en detalles.

De este modo fue calculado el coeficiente de la consistencia ( $C_c$ ) en el suelo y subsuelo respectivamente de 60 perfiles de suelo cuyos promedios se ofrecen en relación a las clases texturales en distintos niveles del valor de S en la tabla 5 indicando también los límites en la variación de las cantidades relativas del magnesio más sodio intercambiables que les corresponden.

Tabla 2

## Algunos índices físicos y químicos de cuatro muestras de suelo

Suelo*	Clase textural	Fracciones limo más arcilla, (L + A)	L/A	Materia orgánica, (M. O.) %	Valor de S, me/100 gr	Cationes cambiables	
						Ca	Mg + Na
						% de S	
Estrella, 58 0—18 cm	Arcilla loamosa	74,6	0,45	3,54	32,8	67,9	30,6
Habana, 8 0—15 cm	Arcilla	85,0	0,24	2,65	55,7	89,8	9,3
Coxville, 42 17—29 cm	Loam	72,2	3,40	2,07	1,4	11,4	88,6
Sta. Lucia, 42 0—15 cm	Arena suelta	11,7	1,29	0,60	1,2	20,8	73,3

\* Después de la denominación de la serie del suelo según H. H. Bennett figura el número del perfil investigado por nosotros.

Se evalúan las condiciones físico-mecánicas de las operaciones de la labranza de tierra en base del valor numérico del coeficiente  $C_c$  según la tabla 5.

Averiguamos la validez de la tabla 5 comparando los resultados de las observaciones hechas todavía por H. H. BENNETT y sus colaboradores con

Tabla 3

Calculos del valor numérico del coeficiente de la consistencia

Suelo*	H**	L/A	PCC	C	No de la fórmula a aplicar	C <sub>c</sub>
Estrella, 58 0—18 cm	4,74	0,45	0,592	0,592	3	1,3
Habana, 8 0—15 cm	3,58	0,24	(2,0)	2,0	3	1,7
Coxville, 39 17—29 cm	2,88	(1,0)	0,034	PCC = 0,324	3/b	0,9
Sta. Lucia, 42 0—15 cm	5,13	(1,0)	—	No entra en la fórmula	3/a	5,1

\*\* Calculado en base de la fórmula (1).

Tabla 4

Valores calculados del coeficiente de la consistencia (en el suelo y subsuelo respectivamente) en relación a las clases texturales en distintos niveles del valor de S

Clases texturales subordinadas	Capa	Mg + Na cambiabiles en % de S	S =			
			< 5	5—15	15—30	> 30
			Coeficiente de la consistencia (Promedios de los valores)			
Arena suelta	suelo	9—100	>5			
	subsuelo	6—90	>2			
Arena	suelo	38—87	>4			
	subsuelo	38—87	>2			
Loam arenoso	suelo	26—76	>3	2,0		
	subsuelo	12—29	1,5			3,6
Loam arcilloso arenoso	suelo	53—79	3,4		0,6	0,2
	subsuelo	2—73		0,4	2,0	0,3
Loam	suelo	2—49		3,1	4,8	2,4
	subsuelo	0—89	2,7	1,8	3,2	
Loam arcilloso	suelo	6—87	1,5	2,3	0,9	2,8
	subsuelo	5—95	1,8	1,8	0,4	1,3
Arcilla	suelo	8—58			0,2	2,3
	subsuelo	1—58				1,9
Arcilla pesada	suelo	6—56	0,5	0,5		0,9
	subsuelo	8—56		0,3		0,4

Tabla 5

Relación del coeficiente C<sub>c</sub> a la consistencia del suelo y condiciones fisico-mecánicas de las operaciones de la labranza de tierra

Coeficiente C <sub>c</sub>	La consistencia del suelo	Las condiciones fisico-mecánicas de la labranza de tierra	Nota
>2	friable (fr)	excelentes	Por enimendo pueden mejorarse No pueden mejorarse
2—1	medianamente friable (mfr)	buenas	
1—0,5	medianamente firme (mf)	regulares	
0,5—0,3	firme (f)	males	
<0,3	firme (f)	muy malas	



aquellos de los cálculos nuestros en base de las fórmulas (3, 3a y 3b) y hallámos una coincidencia casi perfecta (hasta 95% de los casos). Una de las raras excepciones la hacen los suelos rojos fuertemente laterizados (como el Matanzas, el Nipe y el Cuyaguaje). A pesar de que son arcillas o arcillas pesadas su  $C_c$  tiene que calcular en base de las fórmulas (3a y 3b) respectivamente. En estos suelos lo que más importa es el orden de magnitud del valor de S. En su parte arcillosa predominan por supuesto los minerales de arcilla del grupo de la caolinita y además los oxidohidratos del hierro y aluminio en varias proporciones. Es muy probable que a esto se debe su alta friabilidad. Sin embargo se necesitan todavía investigaciones más detalladas para apreciar el papel que tienen los materiales mencionados en la formación de la consistencia de los suelos rojos en cuestión.

No cabe ninguna duda de que la proporción de los cationes intercambiables era el único de los tres factores formadores de la consistencia de suelos el cual puede modificar el hombre por enmienda adecuada. Para eliminar la parte sobrante de los cationes magnesio más sodio intercambiables se suele utilizar cal y/o yeso (en dependencia del valor del pH del suelo a enmendar). La fórmula (3) nuestra permite nos predecir con alta probabilidad de que la enmienda planificada resultaría en el mejoramiento de las condiciones físico-mecánicas de la labranza de tierra o no. Las notas incluidas en la última columna de la tabla 5 se refieren a este tipo de cálculos realizados por nosotros.

### Resumen

De las condiciones físico-mecánicas (brevemente friabilidad) depende la calidad de las operaciones de la labranza de tierra y por lo tanto son de gran importancia agrícola.

En la obra presente se discuten los factores principales de la formación de la consistencia de los suelos siendo estos: 1. la materia orgánica, 2. la textura y 3. la proporción de los cationes intercambiables Ca, Mg y Na entre sí. Se toman en cuenta sus cantidades absolutas (la suma de los cationes metálicos intercambiables) también.

Como consecuencia de los estudios y investigaciones hechos se establece una fórmula (3) y al índice que resulta lo llamamos el coeficiente de la consistencia ( $C_c$ ). En base del valor numérico del mismo coeficiente se clasifican los suelos cubanos desde el punto de vista de las condiciones físico-mecánicas de las operaciones de la labranza de tierra. El lector se refiere a la tabla 5.

El coeficiente de la consistencia nos también permite predecir con alta probabilidad la eficiencia de la enmienda química de los suelos magnésicos en cuanto a la mejora de sus condiciones físico-mecánicas.

### Bibliografía

- [1] BENNETT, H. H. & ALLISON, R. V.: Los suelos de Cuba. Comisión Nac. Cubana. UNESCO La Habana. 1962.
- [2] BENNETT, H. H. & ALLISON, R. V.: Algunos nuevos suelos de Cuba. Comisión Nac. Cubana. UNESCO. La Habana. 1962.
- [3] CRAWLEY, J. T.: Las tierras de Cuba. Estación Experimental Agronómica en Santiago de las Vegas, Habana. Buletín No. 28. 3—86. Febrero 1916.
- [4] Resumen de los trabajos investigativos. Marzo 1964—Marzo 1968, Parte II: Física del suelo. INRA, Centro de Suelos. La Habana. (Manuscrito). 1968.