

LA ESTABILIDAD DE AGREGADOS COMO INDICADOR EDAFICO DE SOSTENIBILIDAD

J A DE ORELLANA, M A PILATTI

Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía y Veterinaria
Universidad Nacional del Litoral - Kreder 2805, 3080 Esperanza, Santa Fé, Argentina

AGGREGATE STABILITY AS EDAPHIC INDICATOR OF SUSTAINABILITY

The aggregate stability corresponding to 60 localities in Santa Fe (Argentina) is analysed using de Hénin method; thus finding that this determination shows the state of degradation and/or improvement of soils under cultivation. It is calculated the index ER (Relative stability) which allows to compare the stability of different soils and fixing critical values. The curves of stability/organic carbon (CO) pretreated with water and benzene indicate satisfactory CO contents of 2.1% for soils of the center and 1.9% for southern zones in Santa Fe. ER can be used as indicator of global sustainability.

Key words: Sustainability - Aggregate stability - Structure.

INTRODUCCION

Según Hamblin (1991) agricultura sostenible implica que la agricultura seguirá siendo por largo tiempo el principal uso del suelo; ello requiere que sea económicamente competitiva y que el recurso básico para sostenerla (el suelo) no disminuya su extensión, su fertilidad ni su calidad. Esta calidad puede ser evaluada a través de indicadores de distinta naturaleza: sociales, económicos o biofísicos (Brklacich 1991). Entre estos últimos, uno de los más representativos es la estabilidad de agregados (Lal 1991). Pero la elección de una técnica que refleje las influencias positivas y negativas del manejo del suelo está ligada a sus fundamentos y a la clase de suelos a los cuales se aplica, lo cual exige probar su idoneidad regional.

Los suelos pampeanos muestran actualmente una masiva tendencia a la degradación (INTA 1989) y hay paralelamente tentativas de recuperación. Esa degradación está vinculada: a) con el estado físico del suelo; b) con su contenido orgánico y c) con la actividad biológica, todos declinantes; especialmente notorio en su horizonte superficial. En el ciclo agrícola hay siempre caída de los índices de CO, N y estabilidad de agregados, siendo los de esta última los más evidentes. (Puricelli 1986). Por lo tanto, los indicadores buscados deberían abarcar, lo más globalmente posible, esos tres aspectos. Ello justifica la elección de la estabilidad de agregados

para dicha función, ya que sus valores son resultantes de:

a) la calidad de porosidad (tipos y proporciones de macro y microporos), que condiciona el fenómeno de estallido (Hénin *et al.* 1972); en él, el agua succionada por los capilares de los agregados comprime el aire ocluido en su interior. Si no hay macroporos cuyo diámetro permita escapar las burbujas, la presión interior sobre las paredes tiende a romper al agregado. Además, la porosidad está estrechamente vinculada con la dinámica hídrica y con la exploración radical.

b) el tenor orgánico resultante de los aportes (manejo) y de la biodegradación, con su acción sobre la cohesión inter e intra agregados y la no mojabilidad de éstos.

c) la actividad biológica, que interacciona con los dos puntos anteriores, generando o aprovechando porosidades, mineralizando o humificando la materia orgánica y ligando partículas minerales con cementos orgánicos.

Fundamentos de la técnica elegida

La técnica elegida para este trabajo es la propuesta por Hénin *et al.* (1972) y simplificada por Monnier (1965), debido a tres de sus particularidades:

a) se basa sobre el fenómeno de estallido, lo cual le confiere mayor sensibilidad que otras, como las de goteo, que son destructivas, b) utiliza pretratamientos que permiten obtener información sobre: la cohesión de

los agregados (pretratamiento alcohol) al inhibir el estallido; la presencia, en cantidad suficiente, de macroporos (pretratamientos agua y benceno); y el tenor suficiente y la calidad y distribución adecuada de la materia orgánica (pretratamientos agua y benceno), c) la abertura de malla del tamiz utilizado en esa técnica es de 200 m, lo que tiene un significado físico afín con los requisitos aquí exigidos al indicador, pues retiene agregados capaces de generar poros entre agregados de 60-70 μ m de diámetro, y mayores; estos huecos son los que garantizan el avenamiento interno del suelo, su aeración y la exploración radical.

Objetivo

Identificar indicadores edáficos que reflejen el estado de un agrosistema con respecto a su sostenibilidad. Para ello se llevaron a cabo las siguientes

a) evaluar la capacidad de la estabilidad de agregados como indicador global para detectar estados declinantes o de recuperación de agroecosistemas, b) definir intervalos críticos de valores de la estabilidad de agregados para suelos con aptitud agrícola de Santa Fe, c) confirmar y cuantificar la relación entre CO y estabilidad de agregados.

MATERIALES Y METODOS

Se trabajo en molisoles con distinta intensidad de uso, situados en las localidades mencionadas en la Tabla 1. Abarca Argiudoles típicos, A. ácuicos, algunos Argialboles y Alfisoles no

sódicos. Todos presentan textura franco limosa en el horizonte A, (arcilla: 18 a 24%; limo: 58 a 71%; arena: 5 a 12%). Cada muestra se conformó de 20 a 40 extracciones superficiales, tomadas con pala, sin comprimir (Orellana 1982, Pilatti, Orellana 1987). El material se desmenuzó a mano, se dejó secar al aire en gabinete y se molió hasta pasar una malla de 2mm. Las determinaciones se efectuaron sobre agregados de entre 2 y 0,2 mm de diámetro. Se determinó: a) estabilidad de agregados: % de agregados mayores que 0,2 mm estables en agua, con pretratamientos de alcohol, agua y benceno (Hénin *et al.* 1972), utilizando el aparato de Féodoroff (1960). b) carbono orgánico: Walkley y Black (MAG 1982). Los resultados se sometieron a análisis de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSION

Actividades

La Tabla 1 sintetiza los resultados obtenidos y los clasifica por intensidad de uso, adicionando los intervalos correspondientes al CO; además, los sitúa geográficamente y -sobre la base de los promedios- presenta los valores de estabilidad relativa (ER) o relación entre el porcentaje de agregados estables de un suelo bajo cultivo y los de ese mismo suelo sin laborear (Orellana 1982).

Los valores de ER de la Tabla 1, calculados sobre medias regionales, sirven de guía, a falta de información local, según se propone más abajo y permiten una comparación más racional entre los niveles de degradación de diferentes lotes.

Tabla 1: Estabilidad de agregados y carbono orgánico en suelos santafesinos

Localidades	Situac. en Santa Fe	Cantidad de casos evaluados			Agregados estables en alcohol (%)			Agregados estables del agua (%)			Agregados estables en benceno (%)			Carbono orgánico (%)		
		V	P	A	V	P	A	V	P	A	V	P	A	V	P	A
Godeken	S	1	3	1	80	63	63	55	28	15	66	27	5	2,2	1,7	1,4
Las Colonias	C	7	14	34				58	31	14	52	11	5	2,0-1,7	1,6-1,3	1,2-1,1
Esperanza	C	1	6	2				47	28	9	65	27	7			
San Justo	CE	1	2	1				35	21	-						
Margarita	CE	3	1	4				52	28	10	70	12	7	1,9-1,7	1,4	1,2-0,9
Ataliva	CO	1	-	1			47	-	11							
Ataliva-S.M.																
Escobas	CO	-	10	13			-	30	12					-	1,9-1,7	1,4-1,1
Guadalupe Norte	NE	1	-	1				52	-	8						
Reconquista	NE	5	-	6				56	-	9	67	-	6	1,3	-	0,7
Villa Ocampo	NE	1	-	-				48	-	-						
Arroyo Ceibal	NE	-	1	2	53	33	16	-	20	8	-	19	7	-	2,01,2	1,30,9
Florencia	NE	3	-	4	62	-	18	46	-	7	36	-	6			
Tacuarendí	NE	1	-	1				46	-	6						
Villa Ana	NE	1	-	1				42	-	5						
Villa Minetti	NO	1	1	3	72	71	56	46	25	12	12	6	3			
Promedio					67	56	38	48	26	9	53	17	6			
*(n-1)					11,8	20,0	24,7	5,99	4,03	3,26	21,5	8,78	1,39			
Valores de Er (%)					100	84	57	100	54	19	100	32	11			

Referencias: C= centro, N,S,E,O: puntos cardinales de la provincia de Santa Fe. Los datos disponibles de carbono orgánico cubren el 80% de las muestras analizadas. Manejo del lote: V= virgen; P= pradera; A= agricultura.

Análisis de casos particulares

Dentro de la comparación global pueden aparecer cifras que desentonen con la tendencia general. Ello se debe a que se han incluido en la tabla *-ex-profeso-* datos provenientes de suelos muy diversos, con manejos sumamente variados. Si bien tal diversidad permite observar el comportamiento del índice de estabilidad elegido en condiciones de generalización, lo que se propone establecer es su uso específico para caracterizar determinados agroecosistemas, cabiendo analizar aquí algunos casos particulares (Tabla 2).

Como se puede observar, los cambios de manejo son detectados por la técnica en cuestión, pero los valores de referencia (suelos no laboreados) son variables para cada suelo, lo que no permite efectuar comparaciones ni generalizar cifras. En cambio, ello es posible utilizando el índice ER. Cabe destacar que un índice similar (denominado IE) fue exitosamente utilizado por Suero y Garay

(1978), quienes hallaron una relación más estrecha entre IE y el manejo que entre este y otros índices absolutos. Asimismo, Tecnoagro (1983) y Seminario (1983) utilizaron satisfactoriamente índices relativos como el propuesto para estabilidad de estructura y para nutrimentos.

Los datos de la Tabla 2 muestran casos en los cuales -para un mismo suelo en cada ejemplo- es registrada la merma de estabilidad al roturar un suelo virgen y al aumentar los años de agricultura. Se aprecia el efecto recuperador de 7 años de cincel en Godeken, de los 3 años con pasturas de gramíneas en Humboldt. Asimismo, es sensible la baja de estabilidad en Arroyo Ceibal, un año después de roturado un monte virgen y la continuidad del proceso degradante en sucesivos años de agricultura. Las muestras pertenecen a lotes vecinos y fueron tomadas el mismo día, en cada ejemplo.

Tabla 2: Algunos casos particulares

Localidad	Manejo	% de agregados estables		ER	
		Agua	Benceno	Agua	Benceno
Margarita	Monte virgen	75	68	100	100
	Desmonte, 2 años agricultura	49	31	65	46
	Idem, a 10 años agricultura	17	6	23	9
Reconquista	Monte Virgen	72	52	100	100
	1 año después de roturado	60	38	83	73
Reconquista	Bajo alambrado	42	60	100	100
	13 años agricultura	12	7	29	12
	15 años maíz/algodón	11	5	26	8
	30 años agricultura	5	2	12	3
Humboldt	Bajo alambrado	73	57	100	100
	Agricultura + 3 años pastura gramíneas	33	11	45	19
	10 años agricultura	11	6	15	11
	18 años agricultura	7	4	10	7
Godeken	Bajo alambrado	55	66	100	100
	4 años pastura 2/4 años agricultura saliendo de pradera	43	27	78	41
	15 años Agricultura + 7 años cincel	29	16	53	24
	Rot. 4P/7A saliendo de agricultura	22	12	40	18
Arroyo Ceibal	Monte	46		100	
	1 año agricultura	36		78	
	2 años "	32		69	
	5 años "	10		22	
	15 años "	7		15	

Tabla 3: Parámetros de la relación entre CO (%) y agregados estables (%)

Procedencia	Pretratamiento	a	b	c	r ²
Centro de Santa Fe	alcohol	95,0	8,5	0,61	0,932
	agua	50,0	6229,5	2,01	0,949
	benceno	50,0	23271,0	2,14	0,981
Sur de Santa Fe	alcohol	80,1	14202,2	2,34	0,846
	agua	58,0	1991,7	1,57	0,899
	benceno	70,0	45554,0	1,98	0,930
Noroeste de Santa Fe	agua	75,0	72,4	0,82	0,626

Una ventaja adicional del ER es que, si las muestras que incluyen el suelo virgen (sin labranzas) y a los demás se toman el mismo día y se secan juntas, se eliminan las diferencias atribuibles a la velocidad e intensidad de secado existente entre laboratorios.

En principio, lo expuesto satisface uno de los objetivos de este trabajo, en la medida en que la estabilidad de agregados puede detectar estados declinantes o de recuperación de agrosistemas, con las salvedades y precauciones que se detallan más adelante.

Intervalos críticos

El segundo objetivo específico se refiere a la identificación de valores críticos de estabilidad de agregados. Ello significa encuadrar valores a partir de los cuales sea posible diagnosticar -por ejemplo- la necesidad de introducir manejos recuperadores.

En este informe, trabajando con diversidad de suelos y manejos de una amplia región, no es posible establecer puntos críticos extrapolables a situaciones particulares. En cambio, es factible calcular valores-guías que pueden servir como indicadores provisorios en la región considerada.

Para ello se sugiere partir de las medias de las columnas A, P y V de la Tabla 1. Calculando con ellas los valores de ER medios regionales, se obtienen dos puntos críticos:

$A/V = 9/49 = 0,19$ Límite crítico inferior de ER (agua)

$P/V = 26/48 = 0,54$ (ER.V) Límite crítico superior de ER (agua)

Esos valores dividen a la escala ER en tres tramos:

- ER 0,19 ; indicador de suelos degradados;
- ER entre 0,19 y 0,54 ; tramo de transición;
- ER 0,54 ; suelo con deterioro admisible.

El tramo de transición abarca una serie de estados intermedios, los mejores de los cuales se sitúan en la

mitad superior de ese tramo, cuyo punto medio (0,37) podría transitoriamente tomarse como señal de alarma para revertir manejos degradantes, a falta de otros indicadores.

Conviene destacar que esos límites, tentativos y calculados a partir de valores regionales, deberán ser confirmados para cada zona en particular.

Relaciones entre estabilidad y carbono orgánico

Como es sabido, la estabilidad de agregados está íntimamente vinculada al contenido orgánico, por lo cual se intentó graficar esa relación. Los puntos experimentales sugieren que -en los suelos considerados- la curva que relaciona ambas variables responde a la siguiente ecuación:

$$y = \frac{a}{1 + b [\exp(-cx)]}$$

donde $y = \%$ de agregados estables, $x = \%$ de carbono orgánico y a , b y c ; parámetros de la ecuación.

Tomando como ejemplo la estabilidad de agregados en agua (pretratamiento agua (Hénin *et al.* 1972), se trazaron las gráficas de la Figura 1. Allí aparecen 3 curvas, obtenidas con datos disponibles del noreste, centro y sur de Santa Fe (Tabla 3).

Se observa que las 3 gráficas presentan trazas similares, con una aparente mayor respuesta al contenido de CO en la parte inferior de la curva, para los suelos del noreste santafesinos. Como los valores de estabilidad no son relativos, sino absolutos, cifras del orden de 10 para dicha variable restan importancia a la diferencia señalada, por lo que las tendencias halladas resultan aceptablemente semejantes. Por lo tanto, en toda la región considerada se podrán aplicar los criterios de puntos críticos válidos para cualquiera de ellas.

Compárese ahora las Figuras 2 y 3. En ellas se trazaron, para suelos del centro y sur de Santa Fe, respectivamente, las curvas que relacionan la estabili-

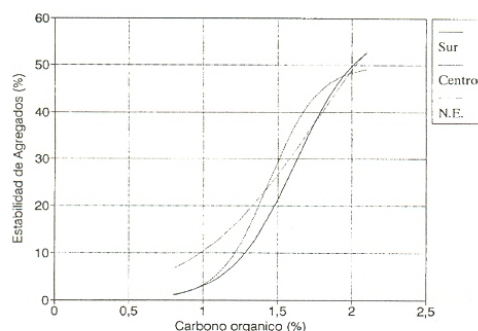


Figura 1: Estabilidad de agregados en agua, para suelos del sur, centro y noreste de la Provincia de Santa Fe.

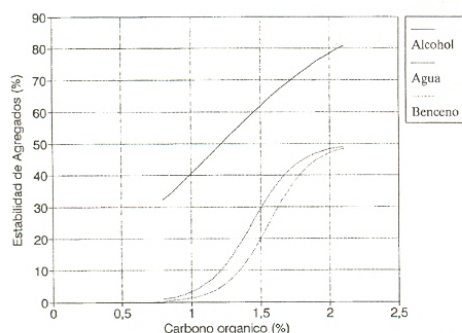


Figura 2: Estabilidad de agregados en suelos del centro de la Provincia de Santa Fe, según pretratamientos.

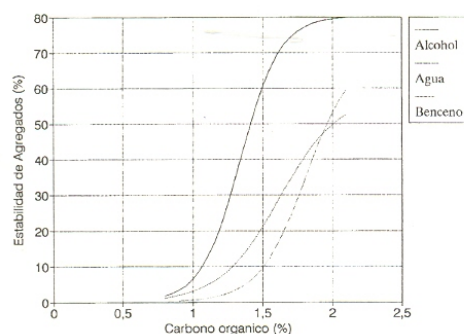


Figura 3: Estabilidad de agregados en suelos del sur de la Provincia de Santa Fe, según pretratamientos.

dad en alcohol, agua y benceno con el tenor de CO. En ambos casos, la curva correspondiente al pretratamiento alcohol se desprende de las dos restantes. Ello se debe a que ese pretratamiento, como ya se señalara, preserva a las muestras del fenómeno de estallido, produciéndose la ruptura principalmente por déficit de cohesión ante las fuerzas de hinchamiento y dispersión. Entretanto, las curvas agua y benceno, que presentan valores de estabilidad más altos (a igualdad de tenores de CO) para la primera, se cortan más adelante. Como, según los principios de la técnica, eso significa que el contenido orgánico hace actuar el benceno como protector de los agregados (evitando su mojado), resulta precedente adoptar la intersección de las curvas o su proximidad como umbral crítico, considerando que contenidos orgánicos superiores a ese umbral son satisfactorios para la estabilidad de los agregados. En esas figuras, el porcentaje de CO correspondiente es de alrededor de 2,1 para los suelos del centro (Figura 2) y de 1,9 para los del sur (Figura 3).

Las gráficas no ilustran, sin embargo, sobre el punto crítico inferior, el cual delataría un estado peligroso de degradación física del suelo. Observaciones experimentales previas sugerían que ese punto crítico inferior se hallaba cerca del 1,2 % de C O (Orellana *et al.* 1988 a, b) lo que -de confirmarse- se aproximaría a estabilidades relativas (ER) de orden coincidente con el deducido en la Tabla 2, donde la relación de medias A/V es de 0,19.

Como se ha visto, la estabilidad de agregados puede reflejar efectos degradantes o recuperadores del uso del suelo, a condición de cumplir con ciertos requisitos. Entre ellos cabe recomendar una toma de muestras esmerada, un acondicionamiento cuidadoso del material y todo el rigor posible en las determinaciones (Carlevaro *et al.* 1991).

En el trabajo aquí desarrollado, además, se ha elegido una técnica que permite interpretar varios aspectos edáficos merced al empleo de pretratamientos. Los autores de este informe consideran que una de las razones más importantes que explican la relación entre porcentaje de agregados estables y el manejo o situación reside en el tamaño de los agregados analizados, mayores que 200 μm . A los argumentos ya expuestos en la introducción sobre este aspecto, cabe adicionar los siguientes. Tisdall y Oades (1982) demostraron que los agregados de ese tamaño (y en especial los mayores de 250 μm) son estabilizados por raíces e hifas, particularmente las arbusculo-vesiculares, cuya existencia está vinculada al manejo del suelo. También Tiulin en 1928 (citado por Tisdall, Oades 1982), ya había afirmado que los agregados de más de 230 μm eran los y responsables de la estructura estable de los suelos. Como antecedente lo-

cal, Pilatti *et. al* (1987) encontraron que las gramíneas superaban a las leguminosas en la generación de agregados estables mayores de 200 μm . Primavesi (1980) atribuye ese fenómeno a los hongos asociados a las raíces de gramíneas y a la excreción fúngica de ácido urónico. Lo antedicho sugiere, entonces que el tamaño de agregados cuya estabilidad interesa conocer es el de los mayores que 200-250 μm . Finalmente, se insiste en la determinación de un índice de estabilidad relativa del tipo de ER.

REFERENCIAS

- Brklacich K, 1991. Review and appraisal of concept of sustainable food production systems. *Environmental management* 15: 34-47.
- Carlevaro L, Sensever, M R, Benavidez R., Meléndez, J. 1991. La estabilidad estructural del suelo como parámetro de los efectos de su laboreo y cultivo. *Gaceta Agronómica* XI 64:395-405.
- Feodoroff A. 1960. Nouvelles normes pour l'appareil à tamiser. *Ann. Agron.* 11: 651-655.
- Garay AF, Suero, E E. 1978. Estado estructural del horizonte superior de suelos Brunizems del S.E. Bonaerense. 8a. Reun. Arg. de la C. del Suelo. Resúmenes:6-7.
- Hamblin A. 1991. Sustainable Agricultural systems: What are the appropriate measures for soil structure? *Austr. J. Soil Res.* 29:709-715.
- Hénin S, Gras R, Monnier G. 1972. El perfil cultural, el estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas. Ed. Mundi Prensa. Madrid. 340 pp.
- INTA EEA Rafaela, 1989. Degradación de los suelos por intensificación de la agricultura. Informe del taller organizado por CONICET. 185 pp.
- Lal R 1991. Soil structure and sustainability. *Journal of Sustainable Agriculture*. Vol. 1 :67-91
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Santa Fe), 1982. D.G. de Ext. e Inv. Agrop. Toma de muestras y determinaciones analíticas de suelos y aguas. 152 pp.
- Monnier G. 1965. Action des matières organiques sur la stabilité structurale. *Ann. Agron.* 16:327-400 y 16:471-531.
- Orellana J A de. 1982. El estado físico del suelo. *CYTA* 28:4-7
- Orellana J A de, Pilatti M A, Priano L J J., 1988. Estabilidad de agregados edáficos en el Departamento Las Colonias. *FAVE III* 1-2:71-79
- Orellana J A de, Priano L J J., Pilatti M A. 1988. Niveles de pH y de nutrimentos en Argiudoles de Las Colonias. *FAVE III* 102:51-57
- Pilatti M A, de Orellana J A, 1987. Instrucciones para tomar muestras de suelos. Comunicaciones FAVE N° 2, 10 pp.
- Pilatti M A, Priano, L J J, de Orellana J A, 1987. Modificaciones producidas en el suelo por plantas forrajeras. *Ciencia del Suelo* 5 2:150-157.
- Primavesi, A., 1980. Manejo Ecológico del Suelo. 5a. Ed. El Ateneo, Bs. As. 499 pp.
- Puricelli C A, 1986. El suelo y la productividad. Estudios realizados en las zonas CREA Centro y Sud Oeste. *Rev. CREA* 116:7-14
- Seminario E. 1983. Evaluación de diferentes índices para la caracterización de la fertilidad potencial de los suelos. CREA Santa Isabel. En A.A.C.R.E.A., zona de CREA sur de Santa Fe. 6 pp. s.n.t.
- Suero E E, Garay E F. 1978. Estado estructural del horizonte superior de suelos Brunizems del S.E. Bonaerense. II. Modificaciones producidas por el manejo a que han sido sometidos. 8a. Reun. Arg. de la Ciencia del Suelo. Resúmenes: 6-7
- Tecnoagro. 1983. Análisis de la fertilidad potencial de lotes del CREA Henderson-Daireaux. 40 pp.s.n.t.
- Tisdall J M, Oades J M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sc.* 33:141-173.
- Tiulin I. 1928. Questions on soil structure. II. Aggregate analysis as a method for determining soil structure. *Perm. Agr. Exp. State Siv. Rep.* 2:77-122.