

REGENERACION DE LA ESTRUCTURA EN DIFERENTES FASES DE DEGRADACION DE UN SUELO FRANCO LIMOSO DE LA PAMPA ONDULADA (ARGENTINA)

O A BARBOSA¹, M A TABOADA², M B RODRIGUEZ², D J COSENTINO²

¹Area de Recursos Naturales, Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ingeniería, Avda 25 de mayo 384, (5730) Villa Mercedes (SL), Argentina. ²Departamento de Suelos, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Avenida San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina

SOIL STRUCTURE REGENERATION IN DIFFERENT DEGRADATION PHASES OF A SILTY LOAM SOIL OF THE ROLLING PAMPA (ARGENTINA)

Silty loams soils of the Rolling Pampa (i.e. Typic Argiudolls) have low structural regeneration capacity, which was ascribed to the lack of swelling clays in topsoil. We carried out a 4 month pot greenhouse experiment, to evaluate the effects of water regime (constant, cycles), and vegetation (unvegetated, sown with ryegrass), on the mean weight diameter of wet-sieved aggregates (MWD) of soils corresponding to three different degradation phases (pristine, moderate, severe). Results indicated a highly significant ($P < 0.001$) vegetation x water regime interaction. In unvegetated pots MWD was significantly higher at constant (2.6 to 4.3 mm) than at cyclic (0.7 to 3.2 mm) water regime, and viceversa occurred with ryegrass. At constant water regime MWD was not changed by vegetation, therefore soil aggregates were supposed to be created by cohesion. The highest MWD's (up to 5 mm) were found in ryegrass pots under wetting-drying cycles. This stabilization was a result of the combination of smaller aggregates previously fragmented by wetting-drying cycles, and was caused neither by grass roots biomass ($r^2 = 0.01$) nor by VA mycorrhizal hyphae. It can be then concluded that the variation of aggregate MWD depended mainly on soil water regime, rather than on soil degradation status. The lack of swelling clay minerals seems to be not a major factor to determine the low regeneration capacity in this silty loam topsoil.

Key words: Soil structure - Wetting-drying cycles - Mycorrhizal hyphae

INTRODUCCION

El norte de la Pampa Ondulada (Argentina) está cubierto por Argiudoles típicos y vérticos con alto contenido de limo fino (2-20 μm) en su horizonte A (Pecorari *et al.* 1990, Senigagliaesi, Ferrari 1993). Estos suelos han sido cultivados en los últimos 100-120 años con variable intensidad, lo cual resultó en difundida degradación moderada (Michelena *et al.* 1988). Este estado de degradación se reconoce por la disminución del espesor del horizonte A, y descensos de hasta 56 % de materia orgánica, tomando como referencia la situación original o prístina (Michelena *et al.* 1988). Existen, además, situaciones localizadas de severa degradación, las que se reconocen por el pronunciado adelgazamiento del horizonte A por procesos de erosión hídrica. Este horizonte somero puede presentar enriquecimiento de arcilla por mezcla textural con el horizonte B subyacente durante las labranzas.

Existen evidencias que indican que estos suelos limosos poseen baja capacidad de regeneración de la estructura deteriorada. Por ejemplo, la estabilidad estructural de los suelos cultivados es apenas un 20-25 % de la original y dicha pérdida no llega a recuperarse totalmente con pasturas plurianuales (Santanatoglia,

Fernández 1983; Pilatti *et al.* 1988; Vázquez *et al.* 1990). Los suelos no laboreados desarrollan impedancias mecánicas incompatibles con un buen crecimiento radical, lo cual los torna poco apropiados para ser manejados con siembra directa continua (Senigagliaesi, Ferrari 1993, Taboada *et al.* 1996). Las pasturas se caracterizan por su escasa vitalidad y deben ser roturadas en poco tiempo (J. Staffolani, Agrouranga S.A., comunicación personal). Esta baja capacidad de regeneración ha sido atribuida a la falta de minerales expansibles en el horizonte A (Pecorari *et al.* 1990, Senigagliaesi, Ferrari 1993, Taboada *et al.* 1996). La formación abiótica de agregados se relaciona con la creación de grietas durante el secado y la consolidación de los límites de los futuros agregados durante el humedecimiento y consecuente expansión volumétrica del suelo (Dexter 1988, Oades 1993).

Además de estos mecanismos abióticos, existen mecanismos biológicos de estabilización de agregados (Tisdall, Oades 1979; Dexter 1988, Oades 1993). Estos se relacionan con el efecto rizosférico alrededor de las raíces y pueden prevalecer o coexistir con los mecanismos de formación (Oades 1993). La estabilización de los agregados ocurre por la acción de diversos agentes cementantes orgánicos transitorios (polisacáridos y poliuronidos), cuya producción es máxima en la zona

rizosférica (Dexter 1988, Oades 1993; Chantigny *et al.* 1997). Este tipo de compuestos han sido relacionados con variaciones de estabilidad en suelos agrícolas de la región (Santanatoglia, Fernández 1983; Pilatti *et al.* 1988; Vázquez *et al.* 1990). El objetivo del presente trabajo fue investigar los mecanismos de formación y estabilización de agregados en un suelo limoso de la Pampa Ondulada. Se hipotetiza que el mecanismo de regeneración es fundamentalmente biológico en el estado original o prístino, con alto contenido de materia orgánica, y abiótico por humedecimiento-secado en el estado severamente degradado, con alto contenido de arcilla expansible.

MATERIALES Y METODOS

Se llevó a cabo un ensayo de invernáculo en macetas entre octubre 1995 y febrero 1996, con el horizonte A (5-15 cm) de un Argiudol típico, serie Peyrano, familia fina iltica térmica, ubicada en la localidad de Uranga, Provincia de Santa Fe, Argentina (33° 15' S; 60° 43' W). Se realizaron muestreos para la identificación de cada una de las fases de degradación teniendo en cuenta la morfología del perfil, los niveles de carbono orgánico y la textura. En el ensayo se utilizaron macetas de PVC (de 15 cm de diámetro), las que fueron llenadas con 3,5 kg de suelo seco, previamente molido y tamizado (0,50 mm).

Tratamientos

Los tratamientos consistieron en anular alternativamente los mecanismos abióticos de formación y los biológicos de estabilización en cada uno de los suelos estudiados, (Tabla 1).

Tabla 1: Diseño del experimento

Vegetación	Regimen Hídrico	
	Humedad Constante	Ciclos humedecimiento-secado
Sin Plantas	Sin mecanismos	Abióticos
Con ryegrass	Biológicos	Abióticos y Biológicos

Se realizó un ensayo de tipo factorial para poder evaluar los efectos e interacciones entre el nivel de *degradación*, la presencia o ausencia de *vegetación*, y el *régimen hídrico*. Las muestras de suelo con distintos niveles de *degradación* fueron tomadas en un campo de 4.000 ha (Ea. San Nicolás, Uranga, Pcia. de Santa Fe). Los niveles fueron: 1) no degradado o pastura (pastura polifítica plurianual no laboreada durante las últimas décadas); 2) degradación moderada (10 años de agricultura continua en una rotación trigo-soja de 2da. soja de 1era); y 3) degradación severa, idem anterior, pero con evidencias de mezcla textural entre los horizontes A y B.

Para evaluar la influencia de la vegetación, una mitad de las macetas se mantuvo sin plantas. En ellas, el suelo fue previamente tratado con bromuro de metilo y posteriormente mantenido con formaldehído como biocida total. La otra mitad de las macetas fue sembradas con ryegrass perenne (*Lolium perenne* L.), a razón de 4 g por maceta. La altura del pasto fue mantenida entre 5 y 25 cm durante el experimento.

Para evaluar el régimen hídrico, una mitad de las macetas se mantuvo a humedad constante. Para ello, se las depositó en bandejas con nivel constante de agua desmineralizada (3 cm). De esta forma, se permitió el humedecimiento permanente del suelo por flujo capilar, alcanzándose valores diferentes de humedad edáfica en cada suelo (Tabla 2). La otra mitad de las macetas estuvo sujeta a ciclos de humedecimiento-secado. En ellas, el nivel de humedad edáfica se dejó variar entre capacidad de campo y mitad del contenido total de agua a capacidad de campo. El agua faltante se repuso hasta tres veces por día por peso, mediante riego con agua desmineralizada.

Análisis físicos y químicos

En los tres suelos se determinó previamente la distribución de tamaño de partícula por el método de la pipeta, la mineralogía de las arcillas por difractogramas de rayos X, y el índice de expansión-contracción (IEC). Este índice surgió de la diferencia entre las densidades aparentes en húmedo y en seco del suelo. Se determinó la humedad retenida a -33 kPa de presión (Burke *et al.* 1986), la cual fue utilizada como valor máximo para el cálculo de láminas de riego. Se determinaron los contenidos de carbono orgánico total (COT), por el método de Walkley y Black (Nelson, Sommers, en Sparks 1996), y de carbono liviano (COL) por densimetría con bromoformo (Davidson *et al.* 1987). Se determinaron los contenidos de hierro libre (Fe libre), el que fue extraído con ditionito, citrato, bicarbonato, y de hierro amorfo (Fe amorfo), el que fue extraído con oxalato ácido de amonio (Loeppert e Inskeep, en Sparks 1996). En ambos casos, las concentraciones de Fe fueron determinadas por espectrofotometría de absorción atómica.

Al comienzo del ensayo se determinó el diámetro medio ponderado de agregados inicial (DMPi), resultante del tamizado del suelo seco con tamices de 250, 210, 106 y 53 µm. Al finalizar el ensayo, el suelo de cada maceta fue subdividido por capas (0-5 cm, 5-10 cm y 10-15 cm), secado al aire, y luego tamizado en vibrador por un juego de tamices de 8,00, 4,75, 3,36 y 2,00 mm. Los agregados resultantes fueron humedecidos por capilaridad a capacidad de campo, y luego tamizados en agua durante 30 minutos en un aparato tipo Yoder (Burke *et al.* 1986), por un juego de tamices de 4,75, 3,36, 2,00, 1,00, 0,50 y 0,30 mm. El diámetro medio ponderado de agregados (DMP) resultante de este último tamizado indicó la estabilidad en agua de los mismos (Burke *et al.* 1986). En las macetas con ryegrass se determinó la biomasa aérea acumulada en todos los cortes periódicos y la biomasa final de raíces en cada tratamiento. Se determinó la presencia de micorrizas vesículo-arbusculares en las raíces de ryegrass, por coloración y tinción con azul de Triván (Phillips, Hayman 1970). Las raíces teñidas fueron observadas en microscopio óptico (100 x y 50 x) con el fin de diferenciar micelio, vesículas y arbusculas de micorrizas.

Análisis estadístico

Los efectos de la degradación de los suelos, el régimen hídrico y la vegetación y sus interacciones fueron evaluados estadísticamente a través de ANVA multifactorial. Las medias significativamente diferentes entre sí fueron separadas usando el test de Tukey. Se utilizó análisis de regresión para relacionar los datos de DMP y los de biomasa de raíces.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización de las fases de suelos utilizadas

El suelo del sector comprende tres fases que representan distintos estados de degradación en su historia del

uso agrícola de este suelo (Tabla 2). El suelo prístino presentó contenidos de COT y COL más altos, y en consecuencia, mayor humedad retenida a -33 kPa. El suelo moderadamente degradado tuvo nivel intermedio de COT, más bajo de arcilla y más alto de limo. El suelo con alta degradación tuvo los menores contenidos de COT y COL, y nivel más alto de arcilla. A diferencia que los otros dos suelos, cuya fracción arcilla estuvo compuesta por illita pura, el análisis de difracción del suelo severamente degradado reveló presencia de illita abierta e interestratificados expansibles en su horizonte A2. Como resultado, el suelo aumentó tres a cuatro veces el IEC. Estos cambios mineralógicos son atribuibles a la mezcla de los horizontes A y B durante las labranzas. Pese a estas diferencias, las tres fases tuvieron similar DMPi de agregados (Tabla 2), con una distribución de tamaño esencialmente concentrada dentro del rango de los microagregados.

Formación de agregados

Los DMP de los agregados aumentaron 4-22 veces en relación con los bajos valores iniciales (Tabla 1) y fueron afectados significativamente ($P < 0,001$) por la profundidad (0-5 cm < 5-10 cm < 10-15 cm). La formación de agregados fue siempre mayor a humedad constante que con ciclos de humedecimiento-secado. Por otro lado existió interacción significativa estado de degradación x régimen hídrico ($P < 0,01$; 0,05; y 0,001 respectivamente para cada profundidad). Ello fue esencialmente causado por un mayor descenso del DMP

entre humedad constante y ciclos en la fase moderadamente degradada (Figura 1).

A diferencia de otros suelos francos (Dexter 1988,

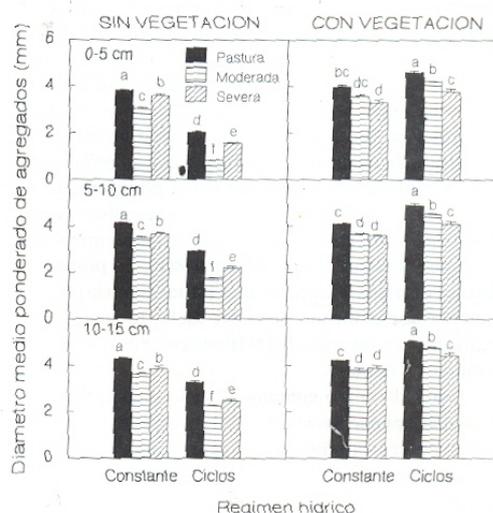


Figura 1: Diámetro medio ponderado de agregados estables al agua al final del experimento, en macetas sin y con vegetación sujetas a humedad constante y ciclos de humedecimiento-secado. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre suelos y entre tratamientos para una misma profundidad.

Tabla 2: Propiedades morfológicas, físicas y químicas de los horizontes superficiales de los tres suelos estudiados. Se muestra el número de ciclos, con y sin plantas, y los contenidos hídricos edáficos máximos y mínimos en los ciclos de humedecimiento-secado. (COT= carbono orgánico total; COL= carbono orgánico liviano; IEC= índice de expansión-contracción; DMPi= diámetro medio ponderado inicial de agregados; CH= contenido hídrico edáfico).

Suelo	Pastura		Degradación moderada		Degradación severa	
	A1	A2	Ap	A2	Ap	A2
Horizonte	A1	A2	Ap	A2	Ap	A2
Profundidad (m)	0-0,27	0,27-0,40	0-0,18	0,18-0,32	0-0,08	0,08-0,17
Estructura	B1 subang	B1 subang	láminas	B1 subang	láminas	prismas
COT (dag kg ⁻¹)	3,00	1,86	1,85	1,57	1,43	1,20
COL (dag kg ⁻¹)	0,21	0,06	0,12	0,06	0,10	0,06
Arcilla (%)	29,52	29,64	26,41	26,70	28,79	35,77
Limo (%)	58,75	58,38	61,69	60,19	55,40	49,76
Textura	Fr.arc.limosa	Fr.arc.limosa	Fr.limosa	Fr.limosa	Fr.arc.limosa	Fr.arc.limosa
IEC	-0,07	-0,04	-0,08	-0,07	-0,20	-0,29
Fe libre (mg kg ⁻¹)	3.220	2.884	3.592	3.070	3.416	3.199
Fe amorfo (mg kg ⁻¹)	2.058	1.885	1.554	1.499	1.917	1.639
DMPi (mm)		0,20		0,22		0,19
Nº Ciclos (c/ plantas)	20		19		19	
Nº Ciclos (s/ plantas)	8		11		11	
CH máximo (dag kg ⁻¹)		41,13		33,47		30,69
CH mínimo (dag kg ⁻¹)		25,34		15,99		15,66

Oades 1993), en nuestro Argiudol los ciclos de humedecimiento-secado no promovieron la formación de agregados estables, sino que la restringieron. Ello sucedió aun en el suelo más degradado, a pesar de su moderado carácter expansible (Tabla 2). Al ser puestos a humedad constante, los pequeños macroagregados, microagregados y partículas inicialmente presentes en cada maceta tendieron a unirse naturalmente entre sí, dando así lugar a aumentos en DMP. Esta unión de agregados a humedad constante puede atribuirse al desarrollo de cohesión, mecanismo que es promovido por los contactos partícula-partícula y por la migración de agentes cementantes (arcillas y compuestos orgánicos) hacia los puntos de contacto entre minerales (Kemper, Rosenau 1984; Dexter 1988). La probabilidad de contactos entre partículas aumenta con la presión ejercida por el mismo peso del suelo, lo cual podría explicar los aumentos de DMP observados con la profundidad (Figura 1).

Tomando como ejemplo al suelo moderadamente degradado, puede observarse que la cohesión fue capaz de formar por sí sola gran cantidad de agregados estables > 2 mm (Figura 2). Utomo y Dexter (1981) atribuyeron a este mecanismo los aumentos de resistencia y estabilidad que tienen lugar en suelos recientemente laboreados.

El efecto de los ciclos consistió en la menor formación de terrones (8-4,8 mm) y en mayores cantidades de unidades de menor nivel jerárquico, como los agregados < 0,3 mm. Probablemente, esta baja formación sea causada por fenómenos de estrés efectivo durante el secado del suelo (Dexter 1988). Estos fenómenos consisten en la disrupción de los agregados, como resultado de tensiones mátricas de magnitud superior a la resistencia interna misma de los agregados. El estrés causado por el secado del suelo a la mitad del contenido hídrico a capacidad de campo demostró ser suficiente para causar desintegración de agregados en ausencia de vegetación (Figura 2). Esta situación es, en cierto modo, comparable con lo que sucede a campo durante los períodos de barbecho desnudo, considerados altamente susceptibles al deterioro estructural debido a la exposición directa del suelo al impacto de las gotas de lluvia (Santanatoglia, Fernández 1983). Nuestros resultados indican que el descenso en DMP no sólo sucedió en la capa 0-5 cm, la única expuesta directamente al riego bajo régimen de ciclos, sino también en las dos subyacentes (Figura 1). La menor formación de agregados por ciclos de humedecimiento-secado debería ser considerada, entonces, otro factor de deterioro estructural en estos suelos limosos.

Estabilización de agregados

A diferencia de las macetas sin plantas, en las mace-

tas con plantas el DMP de agregados fue siempre más alto con ciclos de humedecimiento-secado que con humedad constante (Figura 1), como resultado de una interacción altamente significativa ($P < 0,001$) régimen hídrico x vegetación. En términos generales, tampoco aquí la fase de degradación condicionó el efecto del régimen hídrico y se mantuvo el mismo patrón de variación de DMP con la profundidad (0-5 cm < 5-10 cm < 10-15 cm). Bajo régimen constante de humedad, tanto el DMP como la distribución de tamaño de agregados fueron similares con plantas o sin ellas (Figuras 1 y 2). Es decir que, a humedad constante, la creación de agregados estables se debió invariablemente al desarrollo de cohesión entre agregados y partículas (Utomo, Dexter 1981; Kemper, Rosenau 1984).

Con ciclos de humedecimiento-secado se alcanzan los mayores DMP (Figura 1), comparables con los hallados a campo en rotaciones agrícolas de largo plazo (Pilatti *et al.* 1987, Vázquez *et al.* 1990). Estos aumentos de estabilidad deben, sin duda, ser relacionados con la presencia de raíces de ryegrass. Existen numerosos antecedentes que relacionaron la estabilidad de los gránulos y terrones de una cama de siembra con el hecho de estar entrelazados entre raíces vivas, o parcialmente descompuestas, e hifas fúngicas (Tisdall, Oades 1979; Dexter 1988; Chantigny *et al.* 1997). Sin embargo, en nuestro caso resulta difícil atribuir los aumentos de

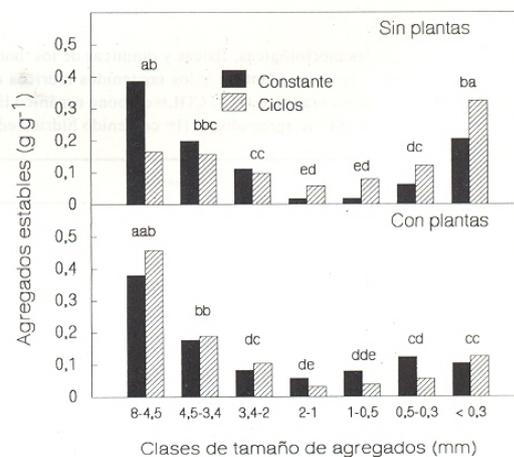


Figura 2: Distribución de tamaño de agregados en la capa 5-10 cm del suelo moderadamente degradado, en macetas sin y con plantas. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre regímenes hídricos y entre clases de diámetro de agregados para cada tratamiento de vegetación.

DMP a efectos causados directamente por las raíces. En efecto, no existió ninguna relación entre la biomasa de raíces y la estabilidad de los agregados ($r^2 = 0,01$). Por otra parte, los más altos DMP del experimento correspondieron a la capa 10-15 cm y al régimen de ciclos de humedad (Figura 1), situaciones donde, precisamente, la biomasa de raíces de ryegrass fue significativamente ($P < 0,001$) más baja (Figura 3).

El mayor desecamiento del suelo en ciclos de humedecimiento-secado responde al consumo del agua por parte del vegetal. Es conocido que los desecamientos pronunciados favorecen el endurecimiento del suelo debido a la cementación que las partículas sufren por óxidos de Fe, Al o Si (por ejemplo ópalo).

Se ha comprobado que la cementación a cargo de sustancias inorgánicas juega un rol importante en la formación de microestructura en otros suelos pampeanos (Buschiazio et al., 1995). Los suelos estudiados presentaron altos contenidos de Fe libre y Fe amorfo, muy por encima de los valores determinados, por ejemplo, en suelos de la Pampa Deprimida (Taboada, Lavado 1986). Esta alta presencia de hierro libre y amorfo permite suponer que es posible que haya ocurrido cementación durante el desecamiento del suelo.

Recientemente, Chantigny *et al.* (1997) hallaron que la estabilidad de los agregados no se correlacionaba con el carbono orgánico de la biomasa microbiana, sino

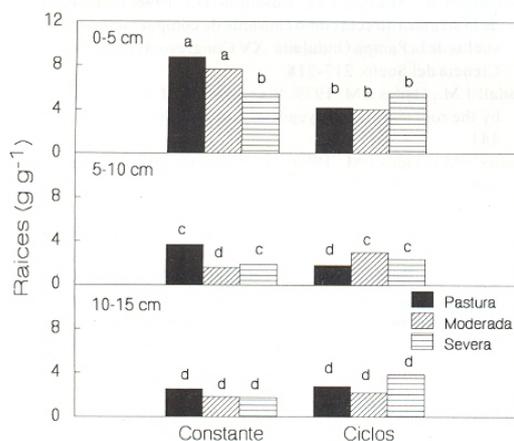


Figura 3: Biomasa de raíces al final del ensayo en las tres capas de suelo, en macetas mantenidas a humedad constante y bajo ciclos de humedecimiento-secado. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre suelos y entre regímenes hídricos para todas las profundidades.

con la concentración de compuestos cementantes de origen microbiano, como el ácido murámico y la glucosamina fúngica. Esta idea es compatible con la estrecha relación entre las variaciones de estabilidad y los contenidos de gomas microbianas hallados previamente en suelos agrícolas de la región (Santanatoglia, Fernández 1983, Vázquez *et al.* 1990). Es posible pensar, por ende, que nuestros aumentos de estabilidad en capas poco provistas de raíces fueron causados por compuestos orgánicos livianos que pudieron migrar en profundidad a través de la solución del suelo. Precisamente, los valores de DMP fueron siempre más altos en el suelo prístino, que posee los niveles más altos de COL (Tabla 2).

Los máximos niveles de estabilidad (Figura 1) fueron alcanzados en condiciones diferentes a las mantenidas en un experimento similar por Tisdall y Oades (1980). Estos autores observaron que el modo más rápido de estabilizar agregados era evitando el marchitamiento de las plantas y realizando cortes mensuales de la biomasa aérea de ryegrass, como forma de estimular el crecimiento de hifas de micorrizas. Sin embargo, en ninguno de nuestros tratamientos se detectó presencia de micelio, vesículas y/o arbuscúlos de micorrizas en las raíces de ryegrass. Ello es atribuible a los disturbios causados por el tamizado previo y por el uso agrícola de los suelos moderada y altamente degradados, y a la baja susceptibilidad del ryegrass a la colonización por micorrizas, especialmente a través de esporas (Frioni, Boaglio 1983). Pese a los frecuentes riegos, no fue posible evitar el marchitamiento de algunas plantas de ryegrass durante el verano y la producción acumulada de biomasa aérea fue del 13 al 20 % menor bajo ciclos que a humedad constante. Cabe preguntarse, entonces, por qué el suelo mantenido constantemente a capacidad de campo no alcanzó mayor estabilidad que el suelo sujeto a ciclos de humedecimiento-secado. Una respuesta a este interrogante surge de la comparación de las distribuciones de tamaño de agregados sin plantas vs con plantas en el suelo moderadamente degradado sujeto a ciclos (Figura 2). Los aumentos de DMP fueron logrados, principalmente, a expensas de la formación de macroagregados (0,3 - 2 mm). La combinación de las unidades de menor tamaño dio lugar a agregados estables al agua > 2 mm, diámetro compatible con una buena cama de siembra agrícola (Dexter 1988). Por consiguiente, la fragmentación en unidades de menor tamaño por mecanismos de estrés efectivo fue, entonces, la condición necesaria previa para la posterior estabilización biológica. Esta sucesión de mecanismos de formación y de estabilización tuvo lugar en todas las fases de suelos degradados estudiadas y no sólo en el suelo enriquecido en arcilla expansible.

El mantenimiento del suelo con vegetación demostró ser la mejor vía para maximizar la regeneración estructural. A diferencia de lo hallado en otros suelos franco limosos, tanto de la región (Pilatti *et al.* 1987, Vázquez *et al.* 1990; Senigagliesi, Ferrari 1993) como del exterior (Dexter 1988; Chantigny *et al.* 1997), en nuestro experimento sólo bastaron cuatro meses para lograr niveles de agregación estable comparables con los hallados a campo. En función de ello, recomendamos que debería investigarse la posibilidad de acortar los periodos de restauración estructural en las rotaciones de los suelos de la región. Puede concluirse que el régimen hídrico, no la fase de degradación, fue el principal factor determinante del tipo de mecanismo de regeneración. Esta aseveración contradice nuestra hipótesis. La falta de arcilla expansible no fue la causa de la baja capacidad de regeneración de los suelos de esta zona.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Universidad de Buenos Aires, mediante el subsidio AG-031 (Programación 1994-1997). Los autores agradecen a E I Leiva por su colaboración en las determinaciones de hierro libre y amorfó.

REFERENCIAS

- Buschiazzo D.E., Aymar S.B., Stahr, K. 1995. Factores edáficos que afectan la estabilidad estructural de suelos de la región semiárida pampeana central (Argentina). *Ciencia del Suelo* 13: 66-69.
- Burke W., Gabriels D., Bouma, J. 1986. Soil structure assessment. A.A. Balkema, Rotterdam. 92 p.
- Chantigny M.H., Angers D.A., Prévost D., Vézina L.-P., Chalifour F.-P. 1997. Soil aggregation and fungal and bacterial biomass under annual and perennial cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61: 262-267.
- Davidson E. A., Galloway L. F., Strand M. K. 1987. Assessing available carbon: comparison of techniques across selected forest soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18:45-64.
- Dexter A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil Tillage. Res.*, 11: 199-235.
- Frioni L., Boaglio A.M. 1983. Distribución de micorrizas vesículo-arbusculares en varios cultivos y especies forrajeras. *Revista de la Universidad Nacional de Río Cuarto* 3: 11-16.
- Kemper W.D., Rosenau R.C. 1984. Soil cohesion as affected by time and water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1001-1006.
- Michelena R.O., Irurtia C.B., Pittaluga A., Vavruska F., de Sardi M.E. 1988. Degradación de los suelos en el sector norte de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 6: 60-66.
- Oades J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-400.
- Pecorari C., Guerif J., Stengel P. 1990. Fitólitos en los suelos pampeanos: influencia sobre las propiedades físicas determinantes de la evolución de la estructura. *Ciencia del Suelo* 8: 135-141.
- Phillips J.M., Hayman D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Pilatti M.A., de Orellana J.A., Priano L.J., Felli O.M., Grenon D.A. 1988. Incidencia de manejos tradicionales y conservacionistas sobre propiedades físicas, químicas y biológicas de un Argiudol del sur de Santa Fé. *Ciencia del Suelo* 6: 19-29.
- Santanatoglia O.J., Fernández N.R. 1983. Estabilidad estructural y contenido de gomas microbianas, bajo distintos tipos de manejo, en suelo de la Serie Ramallo (Argiudol vértico). *Ciencia del Suelo* 1: 43-49.
- Senigagliesi C., Ferrari M. 1993. Soil and crop responses to alternative tillage practices. En: D.R. Buxton, R. Shibles, R.A. Forsberg, B.L. Blad, K.H. Asay, G.M. Paulsen y R.F. Wilson (Eds.). *International Crop Science I. Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA*, pp. 27-35.
- Sparks D.L. 1996. *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* SSSA Book Series No 5. SSSA-ASA. Madison, Wisconsin, USA.
- Taboada M.A., Lavado R.S. 1986. Características del régimen ácuico de un Natracuol de la Pampa Deprimida. *Ciencia del Suelo* 4, 66-71.
- Taboada M.A., Micucci F.G., Cosentino D.J. 1996. Evaluación de la siembra directa como causante de compactación en dos suelos de la Pampa Ondulada. XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 217-218.
- Tisdall J.M., Oades J.M. 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Aust. J. Soil Res.* 17: 429-441.
- Tisdall J.M., Oades J.M. 1980. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a Red-brown Earth. *Aust. J. Soil Res.* 18: 415-22.
- Utomo W.H., Dexter A.R. 1981. Age-hardening of agricultural top soils. *J. Soil Sci.* 32: 335-350.
- Vázquez M.E., Berasategui L.A., Chamorro E.A., Taquini L.A., Barberis L.A. 1990. Evolución de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la Pradera Pampeana. *Ciencia del Suelo* 8: 203-210.