

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso. Indicadores de la fertilidad física y de la vulnerabilidad del suelo: Evolución de la estabilidad estructural.

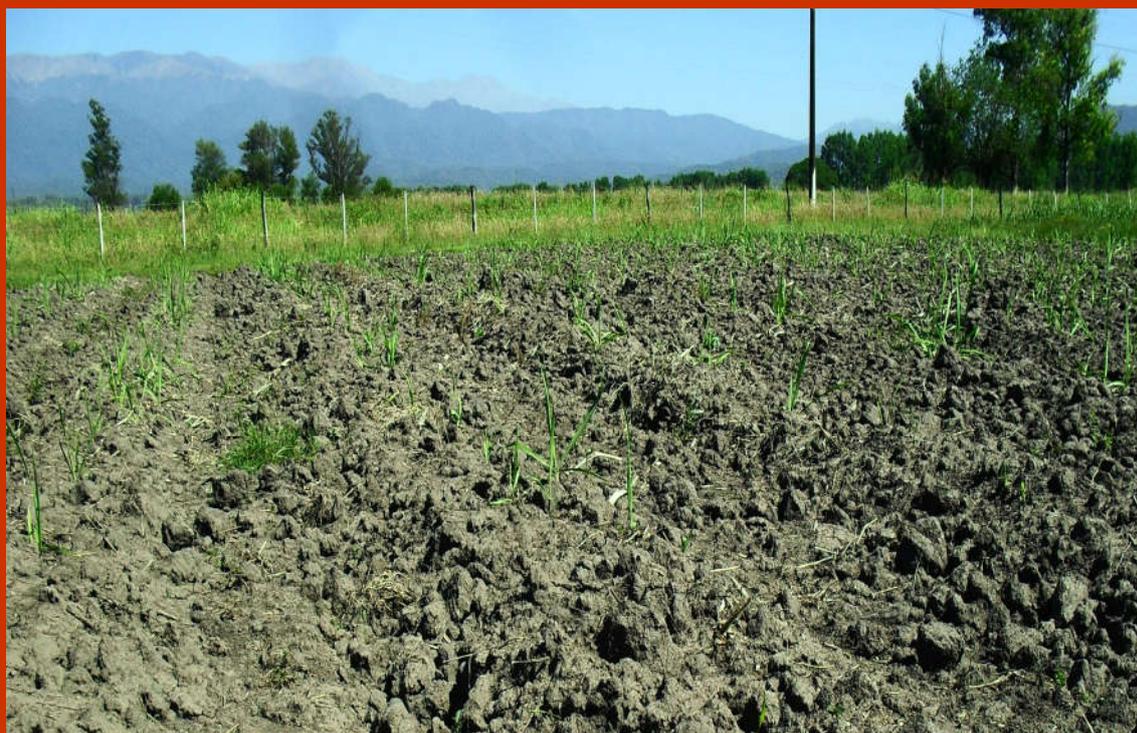
Omar Tesouro¹ / Marcos Roba¹ / Ángel Romito¹ / Enrique Fernández de Ullivarri² / Lidia Donato¹ / Otto Neiman¹

Instituto de Ingeniería Rural - CIA - CNIA

¹Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos

²EEA Famaillá (Tucumán)

Informe Técnico N° 30
Septiembre 2016



Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Informe Técnico Nº 30
ISSN 1852-3080
Septiembre 2016

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.
Indicadores de la fertilidad física y de la vulnerabilidad del suelo: Evolución de la estabilidad
estructural

Programa Nacional de Cultivos Industriales

Proyecto Integrador
Estrategias de manejo de sistemas productivos resilientes

Proyecto Específico
Optimización del ciclo de vida de los cultivos industriales

Módulo
Alternativas tecnológicas y optimización de los sistemas de manejo en cultivos industriales.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Instituto de Ingeniería Rural

Editor responsable: Ing. Agr. Mario Omar Tesouro

Av. Pedro Díaz 1798
Hurlingham - Buenos Aires - Argentina
C.C. 25 B1712 JHB Castelar
Tel. 4665-0495/0450/2115

iir.cd@inta.gob.ar
www.inta.gob.ar/unidades/222000

ÍNDICE GENERAL

Resumen	2
1. Introducción	3
2. Materiales y Métodos	5
3. Resultados	6
3.1 Estabilidad estructural	6
3.2 Evolución del carbono del suelo	10
4. Consideraciones Finales	13
5. Bibliografía	14

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.

Indicadores de la fertilidad física y de la vulnerabilidad del suelo: Evolución de la estabilidad estructural

RESUMEN

Entre los meses de junio y julio de 2013 se inició un ensayo de larga duración en la EEA Famaillá (Tucumán) a fin de probar diferentes tecnologías de cultivo en caña de azúcar. El área experimental posee suelos argiudoles ácuicos, con un prolongado historial de monocultivo de caña con el manejo tradicional de la zona. La estructura del suelo tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo en determinados casos, un factor limitante en la producción. El laboreo continuo redujo el contenido de carbono lábil degradando la estructura superficial del suelo. Los ciclos de laboreo intenso-lluvia-cosecha generaron capas subsuperficiales compactadas que constituyen un impedimento para el movimiento de agua, nutrientes y el normal desarrollo de las raíces. La pérdida de estructura es una forma de degradación física del suelo, que frecuentemente está relacionada con el uso del mismo y las prácticas de manejo. En el área donde se desarrolla un ensayo de nuevas metodologías para la plantación y manejo de los cañaverales, se mantuvieron sitios abandonados a la vegetación nativa a fin de poder monitorear la evolución natural de la estabilidad estructural y del carbono del suelo. La estabilidad estructural de la capa superficial del horizonte A, la de mayor actividad biológica, experimentó una mejora notable luego de permanecer tres años bajo vegetación natural. El incremento en la relación carbono liviano/carbono total resultó coherente con el aporte de materia orgánica conjuntamente con la no disturbación del suelo durante este período. En la capa subyacente del horizonte A también se produjo un aumento en el contenido de carbono liviano y total, pero a diferencia de lo mencionado anteriormente, no tuvo el efecto esperado sobre la estabilidad de la estructura.

1. INTRODUCCIÓN

A diferencia de lo ocurrido en la mayor parte de los cultivos, el manejo de la caña de azúcar continúa realizándose de manera tradicional. Períodos prolongados de monocultivo conducidos bajo un sistema de manejo con elevada intensidad de laboreo han afectado la integridad física del suelo.

La estructura del suelo según Montenegro (1991) tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo en determinados casos, un factor limitante en la producción. Una estructura desfavorable puede acarrear problemas en el desarrollo de las plantas, tales como el exceso o deficiencia de agua, la falta de aire, la incidencia de enfermedades, la baja actividad microbiana, el impedimento para el desarrollo de las raíces, etc. Por el contrario, una estructura favorable permitirá que los factores de crecimiento actúen eficientemente y se obtengan, en consecuencia, los mayores rendimientos de las cosechas.

La degradación de la estructura del suelo depende de factores y condiciones diversas y afecta otras propiedades físicas, químicas y biológicas, disminuyendo la productividad (Hakansson y Lipiec, 2000). El laboreo continuo del suelo en el este tucumano degradó la estructura superficial y generó capas subsuperficiales compactadas que constituyen un impedimento para el movimiento del agua (García et al., 1993, 1996).

La pérdida de estructura es una forma de degradación física del suelo, que frecuentemente está relacionada con el uso del mismo y las prácticas de manejo. (Barral et al., 2007). Dado que la estructura del suelo es una característica física muy dinámica y compleja, sobre la cual influyen en forma conjunta la naturaleza constitutiva de los suelos, los cultivos, el tipo de rotación y de laboreo, etc., resultan insuficientes las observaciones visuales y las caracterizaciones cualitativas para su correcta evaluación (Arias y De Battista, 1984).

Los índices de estabilidad de agregados se correlacionan con las tasas de erosión de suelos, de tal forma que la estabilidad influye en la erodabilidad de los suelos y en la distribución de agregados (Fox y Le Bissonnais, 1998). Las prácticas de manejo pueden modificar el índice de estabilidad (Krüger, 1996; Vidal y Costa, 1998). Vidal y Costa (1998) encontraron que, luego de cuatro años de implementado el sistema de labranza cero en suelos del sudeste bonaerense, se observó un incremento de la densidad aparente y resistencia mecánica en los primeros centímetros superficiales y una mayor estabilidad estructural, la cual permitió una mayor infiltración del agua.

Entre los factores que favorecen la estabilidad del suelo, se destaca la materia orgánica (MOS) siendo un factor estabilizador de la estructura del suelo, ya que ayuda a mantener las partículas minerales unidas frente a las fuerzas desestabilizadoras como el humedecimiento e impacto de las gotas de lluvia (Lado et al., 2004).

Se ha encontrado una alta correlación entre el contenido de carbono orgánico del suelo (CO) y la agregación (Hermawan y Bomke, 1997), así como con la estabilidad de los agregados formados (Haynes et al., 1997). Así, al referirse al estado estructural del suelo, además de determinar las partículas minerales que dominan en su superficie, es importante cuantificar la cantidad y el tipo de materia orgánica presente. En general, la MOS promueve la estabilidad de los agregados porque reduce el hinchamiento del agregado, disminuye la permeabilidad del agregado, reduce las fuerzas destructivas del fenómeno de estallido y aumenta la fuerza intrínseca de los agregados (Fortun y Fortun, 1989).

En la mayoría de los suelos tropicales, la eliminación de la vegetación nativa y el desarrollo de tierras para la producción, generalmente lleva a cambios drásticos en las propiedades del suelo. En ellas se observa una disminución en las reservas de nutrientes para las plantas, contenido de materia orgánica y carbono orgánico, así como también la degradación de la estructura (Lal, 1978). Pérez Arias (1992) señala que en este tipo de suelos, la cementación está altamente influenciada por las partículas de óxidos, carbonato y sulfato de calcio, sílice. La misma autora concluye que dependiendo del tipo de suelos, la influencia de las distintas propiedades físicas, químicas y físico-químicas sobre la estabilidad estructural se expresa de forma distinta.

Durante los meses de junio y julio de 2013, en un área de la EEA Famaillá (Tucumán) con suelo argiudol ácuico y un prolongado historial de monocultivo de caña de azúcar utilizando el manejo tradicional de la zona, se probaron dos sistemas de cultivo: 1) Manejo convencional; 2) Labranza en franjas sin remoción profunda del suelo en los sitios de tránsito (trocha). En el caso del Tratamiento 1, la implantación del cultivo se realizó en forma convencional, lo cual implicó efectuar una labranza profunda en toda la superficie correspondiente a esas parcelas. En el Tratamiento 2, durante la implantación sólo se efectuó una labranza profunda en los sitios donde luego se conformaron los surcos para ser colocada la caña semilla. Esta técnica, conocida como labranza en franjas, se llevó a cabo mediante un prototipo diseñado y desarrollado en el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos (IIR-CIA-CNIA-INTA exCastelar). En el momento de la primera cosecha de la caña quedaron definidos los subtratamientos. Las parcelas fueron cosechadas en parte de forma convencional mientras que, en la superficie restante, se redujo la intensidad de

tránsito empleando una cosechadora de menor peso y evitando la circulación de acoplados pesados y de camiones en el área de cultivo. Las unidades completas del ensayo se establecieron entonces por la forma de implantación del cultivo y las subparcelas, por el modo de realizar la cosecha. Los tratamientos y subtratamientos fueron repetidos tres veces en un DBCA con parcelas divididas. Dentro del área experimental permanecen sitios sin alterar, donde no se aplican ni tratamientos ni subtratamientos, a fin de monitorear la evolución natural del suelo.

El objetivo de este trabajo fue obtener datos de estabilidad estructural y de carbono liviano y total del horizonte A en los sitios inalterados (situación de base) y confrontarlos con los resultados obtenidos del muestreo realizado luego de un año.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El primer muestreo fue realizado en junio de 2013, previo a la realización de las labores para la implantación del cultivo de caña de azúcar, con el fin de establecer la situación de base. Las profundidades de muestreo fueron de 0 a 10, de 10 a 20 (horizonte A) y de 30 a 40 cm (horizonte B₁₁). El segundo muestreo se efectuó en septiembre del 2014, en los sitios inalterados que se mantuvieron en los bordes de las parcelas y que no fueron afectados por tratamientos ni subtratamientos. En este segundo año la toma de muestras se restringió al horizonte A, manteniendo la discriminación por profundidad mencionada anteriormente. En ambos años los sitios muestrales fueron elegidos al azar. El suelo extraído fue mezclado a fin de obtener muestras compuestas, las cuales fueron enviadas al Laboratorio de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). Para evaluar la estabilidad estructural se utilizó el método de De Leenheer y De Boodt (1958) el cual consiste básicamente en determinar el peso de distintos tamaños de agregados luego de tamizar las muestras de suelo en seco y en húmedo.



Figura 1: Conjunto de tamices utilizados en la desagregación de los terrones secos.



Figura 2: Equipo "Yoder" utilizado para el tamizado en húmedo.



Figura 3: Bureta utilizada para el humedecimiento de las muestras
(Gentileza: Cát. de Edafología – FCAyF - UNLP)

Para estimar el índice de estabilidad (De Boodt et al., 1961) se utilizó como valor de referencia el cambio en diámetro medio de los agregados de una pradera en un suelo de similar clase textural (CMWD = 0,45 mm). Este índice clasifica la estabilidad de la estructura según la siguiente escala:

Índice de estabilidad (%)	Calificación
> 50	Excelente
40 - 50	Muy bueno
33 - 40	Aceptable
25 - 33	Insatisfactorio
< 25	Malo

Tabla 3.1: Clasificación de estabilidad estructural (De Boodt et al., 1961).

La medición del carbono total se realizó siguiendo el método de Walkley y Black (1934) y el carbono lábil o liviano fue separado por densimetría.

3. RESULTADOS

3.1: Estabilidad estructural

Los resultados obtenidos al tamizar las muestras de suelo obtenidas en el año 2013 se encuentran en las tablas 3.1.1 a 3.1.3 y su representación gráfica puede observarse en las figuras 3.1.1 a 3.1.3. El área sombreada permite obtener una apreciación visual de la estabilidad de la estructura, siendo ésta mayor cuanto menor sea aquélla. Además y debido a la escala adoptada, la

magnitud del área dividida por 10 coincide numéricamente con el cambio en el diámetro medio de los agregados. En la situación de base del ensayo, la reducción del diámetro medio ponderado de los agregados tamizados en húmedo (Tabla 3.1.6), fue prácticamente idéntica en las muestras tomadas a diferente profundidad dentro del horizonte A y se diferenciaron claramente de la obtenida en horizonte B_{t1}.

Fracción (mm)	Tamizado seco			Tamizado húmedo		
	Peso unitario (g)	Peso acumulado (g)	Promedio ponderado (mm)	Peso unitario (g)	Peso acumulado (g)	Promedio ponderado (mm)
4,76 – 8,00	55,54	100,00	3,53	38,86	100,00	2,47
3,35 – 4,76	21,55	44,46	0,86	16,66	61,14	0,67
2,00 – 3,35	22,91	22,91	0,61	16,69	44,48	0,44
1,00 – 2,00	0,00	0,00	0,00	6,42	27,79	0,10
0,50 – 1,00	0,00	0,00	0,00	4,40	21,37	0,03
0,30 – 0,50	0,00	0,00	0,00	2,84	16,97	0,01
0,00 – 0,30	0,00	0,00	0,00	14,13	14,13	0,02
Tamaño medio de los agregados (mm)			5,00			3,74

Tabla 3.1.1: Peso unitario y acumulado de la masa de suelo en función del orificio de los tamices y tamaño medio de los agregados. Horizonte A de 0 a 10 cm. Fecha de muestreo: Junio de 2013.

Fracción (mm)	Tamizado seco			Tamizado húmedo		
	Peso unitario (g)	Peso acumulado (g)	Promedio ponderado (mm)	Peso unitario (g)	Peso acumulado (g)	Promedio ponderado (mm)
4,76 – 8,00	51,58	100,00	3,28	34,18	100,00	2,17
3,35 – 4,76	23,32	48,42	0,93	19,90	65,2	0,80
2,00 – 3,35	25,10	25,10	0,67	18,78	45,92	0,50
1,00 – 2,00	0,00	0,00	0,00	8,43	27,14	0,13
0,50 – 1,00	0,00	0,00	0,00	4,20	18,71	0,03
0,30 – 0,50	0,00	0,00	0,00	3,90	14,51	0,02
0,00 – 0,30	0,00	0,00	0,00	10,61	10,61	0,02
Tamaño medio de los agregados (mm)			4,88			3,65

Tabla 3.1.2: Peso unitario y acumulado de la masa de suelo en función del orificio de los tamices y tamaño medio de los agregados. Horizonte A de 10 a 20 cm. Fecha de muestreo: Junio de 2013.

Fracción (mm)	Tamizado seco			Tamizado húmedo		
	Peso unitario (g)	Peso acumulado (g)	Promedio ponderado (mm)	Peso unitario (g)	Peso acumulado (g)	Promedio ponderado (mm)
4,76 – 8,00	47,20	100,00	3,00	18,47	100,00	1,17
3,35 – 4,76	22,20	52,80	0,89	18,41	81,53	0,74
2,00 – 3,35	30,60	30,60	0,81	24,48	63,12	0,65
1,00 – 2,00	0,00	0,00	0,00	15,96	38,65	0,24
0,50 – 1,00	0,00	0,00	0,00	7,63	22,68	0,06
0,30 – 0,50	0,00	0,00	0,00	3,65	15,05	0,01
0,00 – 0,30	0,00	0,00	0,00	11,40	11,40	0,02
Tamaño medio de los agregados (mm)			4,70			2,89

Tabla 3.1.3: Peso unitario y acumulado de la masa de suelo en función del orificio de los tamices y tamaño medio de los agregados. Horizonte B₁₁ de 30 a 40 cm. Fecha de muestreo: Junio de 2013.

Fracción (mm)	Tamizado seco			Tamizado húmedo		
	Peso unitario (g)	Peso acumulado (g)	Promedio ponderado (mm)	Peso unitario (g)	Peso acumulado (g)	Promedio ponderado (mm)
4,76 – 8,00	43,40	100,00	2,77	30,42	100,00	1,94
3,35 – 4,76	25,10	56,60	1,00	18,63	69,58	0,76
2,00 – 3,35	31,50	31,50	0,84	26,19	50,94	0,70
1,00 – 2,00	0,00	0,00	0,00	3,63	24,75	0,05
0,50 – 1,00	0,00	0,00	0,00	4,04	21,12	0,03
0,30 – 0,50	0,00	0,00	0,00	2,93	17,09	0,01
0,00 – 0,30	0,00	0,00	0,00	14,16	14,16	0,02
Tamaño medio de los agregados (mm)			4,61			3,52

Tabla 3.1.4: Peso unitario y acumulado de la masa de suelo en función del orificio de los tamices y tamaño medio de los agregados. Horizonte A de 0 a 10 cm. Fecha de muestreo: Septiembre de 2014.

Fracción (mm)	Tamizado seco			Tamizado húmedo		
	Peso unitario (g)	Peso acumulado (g)	Promedio ponderado (mm)	Peso unitario (g)	Peso acumulado (g)	Promedio ponderado (mm)
4,76 – 8,00	40,50	100,00	2,58	20,43	100,00	1,30
3,35 – 4,76	24,60	59,50	0,98	15,44	79,57	0,63
2,00 – 3,35	34,90	34,90	0,93	24,05	64,14	0,64
1,00 – 2,00	0,00	0,00	0,00	8,73	40,09	0,13
0,50 – 1,00	0,00	0,00	0,00	6,37	31,36	0,05
0,30 – 0,50	0,00	0,00	0,00	4,15	24,98	0,02
0,00 – 0,30	0,00	0,00	0,00	20,83	20,83	0,03
Tamaño medio de los agregados (mm)			4,49			2,80

Tabla 3.1.5: Peso unitario y acumulado de la masa de suelo en función del orificio de los tamices y tamaño medio de los agregados. Horizonte A de 10 a 20 cm. Fecha de muestreo: Septiembre de 2014.

En el muestreo efectuado en el año 2014 (Tabla 3.1.7) en cambio, la estabilidad de los agregados existentes en estas dos capas se diferenció claramente. A profundidades de 0 a 10 cm, la reducción del diámetro medio de los agregados tamizados en húmedo varió de 1,26 mm, observada en el año 2013, a 1,09 mm en 2014. La calificación de la estabilidad estructural se modificó entonces de aceptable a muy buena. Contrariamente, en el estrato de 10 a 20 cm, la estabilidad de los agregados pasó de aceptable a insatisfactoria. Aunque no se han encontrado antecedentes bibliográficos coincidentes con esta observación, este resultado es coherente con los cambios ocurridos en ese lapso de tiempo en la densidad aparente y en la porosidad del suelo en la capa más profunda del horizonte (Informe Técnico 25).

Profundidad de muestreo	Promedio ponderado (mm)		Diferencia	Índice de estabilidad (%)	Calificación
	Tamizado seco	Tamizado húmedo			
Hor A de 0 - 10 cm	5,00	3,74	1,26	35,71	Aceptable
Hor A de 10 - 20 cm	4,88	3,65	1,23	36,58	Aceptable
Hor B ₁ de 30 - 40 cm	4,70	2,89	1,81	24,86	Malo

Tabla 3.1.6: Índices de estabilidad estructural (De Boodt et al., 1961). Muestras obtenidas en Junio de 2013.

Profundidad de muestreo	Promedio ponderado (mm)		Diferencia	Índice de estabilidad (%)	Calificación
	Tamizado seco	Tamizado húmedo			
Hor A de 0 - 10 cm	4,61	3,52	1,09	41,25	Muy bueno
Hor A de 10 - 20 cm	4,49	2,80	1,69	26,60	Insatisfactorio

Tabla 3.1.7: Índices de estabilidad estructural (De Boedt et al., 1961). Muestras obtenidas en Septiembre de 2014.

3.2: Evolución del carbono del suelo

El contenido de carbono liviano está asociado con la fertilidad edáfica y una relación carbono lábil - carbono total inferior al 15 %, indica una excesiva intensidad de laboreo del suelo ya que esta parte de la materia orgánica es la que más fácilmente se oxida por acción del las labranzas. Este concepto es coincidente con lo hallado por varios autores. Barral et al. (2007), en un estudio realizado en dos suelos próximos, desarrollados sobre el mismo material geológico y bajo las mismas condiciones climáticas pero que diferían en el uso del suelo (pradera permanente o cultivo continuo), ponen de manifiesto que el cultivo tiene un efecto desfavorable en propiedades clave de la calidad del suelo, disminuyendo el contenido de la materia orgánica soluble, la estabilidad estructural y la actividad microbiana en el suelo.

En el año 2014 se manifestó un notable incremento en la relación carbono liviano o lábil/ carbono total (Tabla 3.2.2) en el rango de profundidad de 0 a 10 cm, respecto de la obtenida en el año 2013 (Tabla 3.2.1). En la base del horizonte A esta relación permaneció prácticamente constante a pesar del notable aumento del carbono liviano.

Horizonte	%CO Total	%CO lábil	% del CO Total
A de 0 a 10 cm	1,80	0,0638	3,47
A de 10 a 20 cm	0,97	0,0490	5,05
B _{t1} de 30 a 40 cm	1,58	0,0082	0,52

Tabla 3.2.1: Contenido de carbono total, carbono lábil (separación densimétrica) y relación carbono lábil/carbono total (Junio 2013).

Horizonte	%CO Total	%CO lábil	% del CO Total
A de 0 a 10 cm	2,15	0,185	8,60
A de 10 a 20 cm	1,87	0,090	4,81

Tabla 3.2.2: Contenido de carbono total, carbono lábil (separación densimétrica) y relación carbono lábil/carbono total (Septiembre 2014).

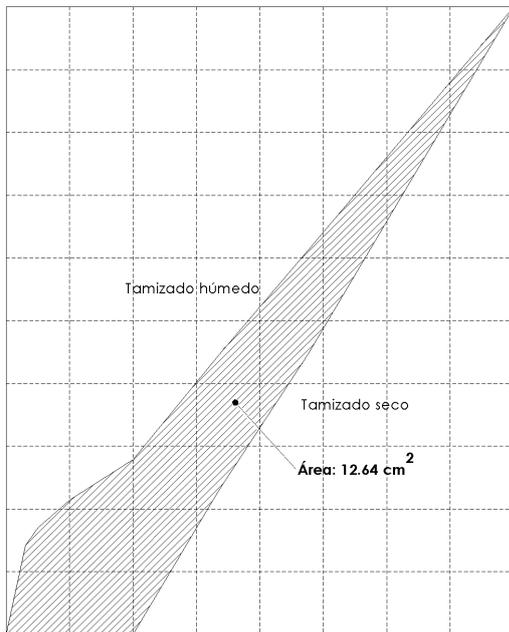


Figura 3.1.1: Peso acumulado de la masa de suelo en función del orificio de los tamices. Horizonte A 0 a 10 cm. Junio de 2013. Referencias: Escala ordenadas: 1cm=10g; abscisas: 1cm=0,1 mm (diámetro de los orificios de los tamices).

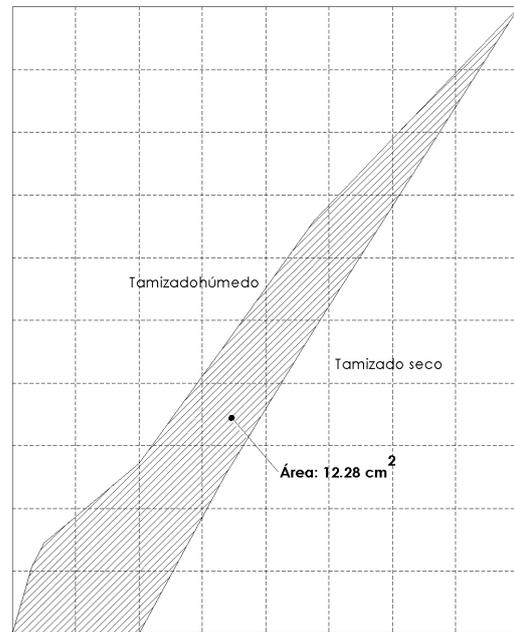


Figura 3.1.2: Peso acumulado de la masa de suelo en función del orificio de los tamices. Horizonte A 10 a 20 cm. Junio de 2013. Referencias: Escala ordenadas: 1cm=10g; abscisas: 1cm=0,1 mm (diámetro de los orificios de los tamices).

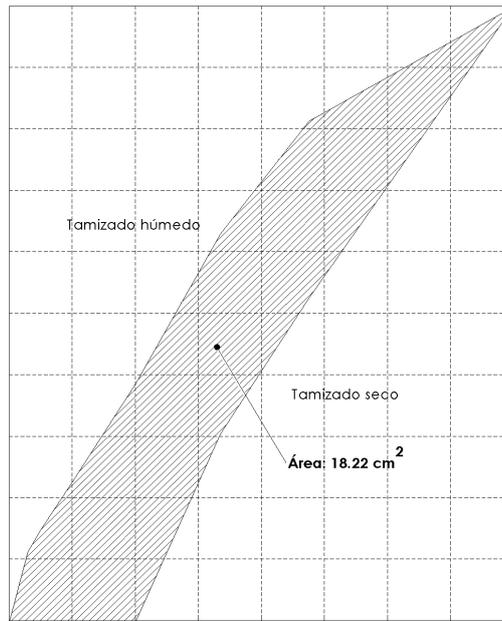


Figura 3.1.3. Peso acumulado de la masa de suelo en función del orificio de los tamices. Horizonte Bt1 30 a 40 cm. Junio de 2013. Referencias: Escala ordenadas: 1cm=10g; abscisas: 1cm=0,1 mm (diámetro de los orificios de los tamices).

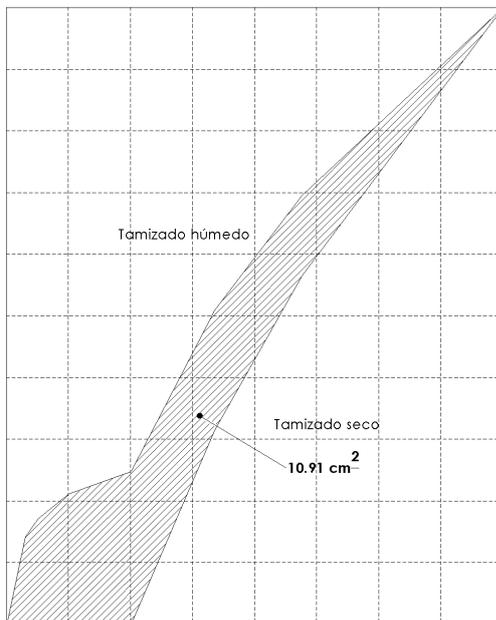


Figura 3.1.4. Peso acumulado de la masa de suelo en función del orificio de los tamices. Horizonte A 0 a 10 cm. Septiembre de 2014. Referencias: Escala ordenadas: 1cm=10g; abscisas: 1cm=0,1 mm (diámetro de los orificios de los tamices).

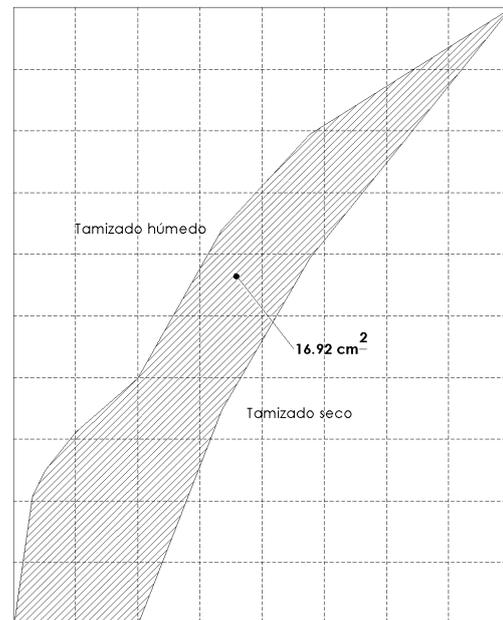


Figura 3.1.5. Peso acumulado de la masa de suelo en función del orificio de los tamices. Horizonte A 10 a 20 cm. Septiembre de 2014. Referencias: Escala ordenadas: 1cm=10g; abscisas: 1cm=0,1 mm (diámetro de los orificios de los tamices).

4. CONSIDERACIONES FINALES

La estabilidad estructural de la capa superficial del horizonte A, la de mayor actividad biológica, experimentó una mejora notable luego de permanecer tres años bajo vegetación natural. El incremento en la relación carbono liviano/carbono total resultó coherente con el aporte de materia orgánica conjuntamente con la no disturbación del suelo durante este período.

En la capa subyacente del horizonte A también se produjo un aumento en el contenido de carbono liviano y total, pero a diferencia de lo mencionado anteriormente, no tuvo el efecto esperado sobre la estabilidad de la estructura.

5. BIBLIOGRAFIA

Arias, N. y J.J De Battista. 1984. Evaluación de métodos para la determinación de estabilidad estructural en Vertisoles de Entre Ríos. *Ciencia del Suelo* 2: 87-92.

Barral, M.T., E. Buján, R. Devesa, M.L. Iglesias and M. Velasco-Molina. 2007. Comparison of the structural stability of pasture and cultivated soils. *Science of the total environment* 378, Nº 1: 174-178.

De Leenheer, L. and M. De Boodt. 1958. Determination aggregate stability by the change in mean weight diameter. In: *Proceedings of the International Symposium of Soil Structures, Gent, Belgium*, pp. 290-330.

De Boodt, M., L. De Leenheer and D. Kirkham. 1961. Soil aggregate stability indexes and crop yields. *Soil Science* 91:138-146.

Fortun, C. y A. Fortun. 1989. Diversos aspectos sobre el papel de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. *Edafol. Agrobiol.* 48: 185–204.

Fox, D. M. and Y. Le Bissonnais. 1998. Process Based Analysis of Aggregate Stability Effects on Sealing, Infiltration, and Interrill Erosion. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 62 No. 3: 717-724.

García, J.R., C. Bleckwedel, D. Giménez, M. R. Cáceres y A. M. Pietroboni. 1993. La degradación de los suelos agrícolas del este tucumano. En: *Actas del Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, 12, Salamanca. España. pp. 1280-1285.

García, J.R., R. Giménez, G.A. Sanzano y R.D. Corbella. 1996. Influencia en la infiltración de diferentes capas de un suelo agrícola del este tucumano. *Avance Agroind.* 64: 12-13.

Hakansson, I. and J. Lipiec. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil Tillage Res.* 53: 71-85.

Haynes, R.J., R.S. Swift and K.C. Stephen. 1997. Influence of mixed cropping rotations (pasture–arable) on organic matter, water stable and clod porosity in a group of soils. *Soil Till. Res.* 19: 77–81.

Hermawan, B. and A. Bomke. 1997. Effects of winter cover crops and successive spring tillage on soil aggregation. *Soil Till. Res.* 44: 109–120.

Krüger, H. R. 1996. Evaluación de la compactación en haplustoles del sudoeste bonaerense bajo cuatro sistemas de labranza. *Actas XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Santa Rosa. La Pampa. pp. 205-206.

Lado, M., A. Paz and M. Ben-Hur. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation and soil loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 935–942.

Lal, R. 1978. Modification of soil fertility characteristics by management of soil physical properties and crop production in the tropics. Chap. 7.1. *J. Wiley and Sons, Chichester. U.K.I.* pp. 249-262.

Montenegro, G.H. 1991. Interpretación de las propiedades Físicas del Suelo (Textura, Estructura, Densidad, Aireación, etc.) En: *Seminario-Taller "Fundamentos para la interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para riego"*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá D.E. Colombia.

Pérez Arias, J. 1992. Estudio de la estabilidad estructural del suelo en relación con el complejo de cambio. Comportamiento de algunos suelos característicos españoles. PhD. Tesis. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 462 pp.

Vidal, C.M. y J.L. Costa. 1998. Evaluación de algunas propiedades físicas en sistemas de labranza reducida y siembra directa. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Villa Carlos Paz. Córdoba.

Walkley, A. and I. Armstrong Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.

La presente publicación integra una serie de Informes Técnicos editada por el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos del Instituto de Ingeniería Rural. Estos informes tienen como finalidad poner a disposición de los profesionales oficiales y privados, la información generada en los trabajos de investigación llevados a cabo por el mismo.



Ministerio de Agroindustria
Presidencia de la Nación