

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso. Indicadores de la fertilidad física y de la vulnerabilidad del suelo: Curvas de retención hídrica y distribución del tamaño de los poros.

Omar Tesouro¹ / Enrique Fernández de Ullivarri² / Leonardo Venturelli¹ / Marcos Roba¹ / Ángel Romito¹ / Otto Neiman¹

Instituto de Ingeniería Rural - CIA - CNIA

¹Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos

²EEA Famaillá (Tucumán)

Informe Técnico N° 32
Junio 2017



Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Informe Técnico Nº 32
ISSN 1852-3080
Junio 2017

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.
Indicadores de la fertilidad física y de la vulnerabilidad del suelo:
Curvas de retención hídrica y distribución del tamaño de los poros

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

INDICE

Resumen	2
1. Introducción	3
2. Materiales y Métodos	4
3. Resultados	7
3.1 Curvas de retención hídrica	7
3.2 Capacidad de aireación	11
4. Consideraciones Finales	14
5. Bibliografía	15

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.

Indicadores de la fertilidad física y de la vulnerabilidad del suelo: Curvas de retención hídrica y distribución del tamaño de los poros

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. El diseño del ensayo es en bloques completos aleatorizados con parcelas divididas y tres repeticiones por tratamiento. Las unidades completas son las formas de cultivo (tratamientos): convencional y mediante labranza en franjas, mientras que las subparcelas (subtratamientos) están definidas por la forma de cosecha: en un caso, efectuando cosecha convencional, mientras que en el otro subtratamiento, la cosecha mecánica se realiza a lo largo del período de aprovechamiento del cultivo mediante una máquina de arrastre de mucho menor peso, evitando la circulación de camiones en el área de cultivo. También se mantienen sitios sin alterar en el área experimental, a fin de monitorear la resiliencia del suelo.

En este Informe Técnico se presenta la evolución de la relación aire - agua del suelo entre la situación de base (junio de 2013) y luego del primer ciclo del cultivo (2014). Las evaluaciones se efectuaron sobre muestras de suelo inalteradas extraídas del horizonte superficial a profundidades de 0 a 100 y de 100 a 200 mm. La principal diferencia entre las formas de cosecha se manifestó en la zona de menores potenciales mátricos, que es la que se corresponde con los mayores diámetros de poros, afectando a todo el espesor de este horizonte. En el rango de agua útil, en cambio, el efecto de los subtratamientos tuvo más intensidad a mayor profundidad y principalmente, en el tratamiento sin labranza previa. Los sitios en donde no se aplicaron tratamientos ni subtratamientos también presentaron en el año 2014 un importante incremento del grado de deterioro de su espacio poroso, principalmente en su capa más profunda y de menor actividad biológica, indicando que el suelo aún no ha alcanzado su estado de equilibrio. A pesar de ello, en los primeros 100 mm de estos sitios inalterados, se obtuvo la mejor capacidad de aireación de todas las situaciones analizadas.

1. INTRODUCCIÓN

La compactación del suelo es una de las formas más importantes de degradación física de los suelos (Pagliai et al., 2004). Este fenómeno altera la estructura de los suelos cultivados, modificando varias propiedades clave para el mantenimiento del ambiente y la producción de los cultivos (Soane and van Ouwerkerk, 1994; Chan et al., 2006). La compactación excesiva del suelo puede tener efectos adversos sobre la emergencia de las plántulas y el desarrollo radical. Causa una reducción en la difusión del oxígeno favoreciendo la denitrificación (Czyz, 2004). Puede también aumentar el riesgo de escurrimiento superficial del agua debido a la disminución de la infiltración.

Soane et al. (1982) sostienen que la compactación altera el volumen y la estructura de los poros del suelo, reduciendo el tamaño y el número de los macroporos, afectando también su forma y continuidad. De esta manera se modifica el estado de agregación y las interacciones existentes entre las fases sólida, líquida y gaseosa, disminuyendo la conductividad, permeabilidad y difusión del agua y aire a través del sistema poroso. Las dos características más importantes del agua edáfica son su contenido, en una cierta masa de suelo y la fuerza con la que es retenida por la fase sólida. El contenido hídrico tiene influencia sobre numerosos procesos del suelo como ser, el intercambio gaseoso con la atmósfera, la difusión de nutrientes hacia las raíces de los cultivos, el transporte del calor y la distribución de temperatura en el perfil del suelo. La fuerza con la que es retenida el agua por la matriz del suelo también afecta varios procesos, incluyendo la eficiencia con la cual extraen el agua los cultivos, el drenaje y el movimiento de agua y solutos.

La pérdida de la porosidad en un suelo agrícola, afecta considerablemente el normal movimiento y almacenamiento de aire y agua, necesarios para el desarrollo de los cultivos (Ruud et al., 2008). La cantidad de agua que puede almacenar un sistema dado está determinada por el volumen total de espacios vacíos o espacio poroso. Sin embargo, este volumen está sólo directamente relacionado con la cantidad de agua que estará disponible para ser absorbida por las raíces en un tiempo dado. Las dos propiedades físicas para la descripción cuantitativa del sistema hídrico del suelo son la energía potencial del agua y la conductividad hidráulica. En condiciones normales, el máximo potencial total del agua (Ψ_t) equivale a cero en el estado de saturación. A medida que el contenido hídrico del suelo (θ) disminuye desde el estado de saturación, la energía potencial del agua remanente decrece

debido al aumento de la tenacidad con la cual es retenida por fuerzas capilares y de adsorción que constituyen el potencial mátrico (Ψ_m). El potencial agua del suelo adquiere entonces progresivamente valores con mayor negatividad. La relación entre Ψ_m y θ se expresa mediante la curva de retención de humedad. Esta curva denota que la relación entre ambos parámetros es compleja y no proporcional, ya que involucra una interacción entre las fases sólida, líquida y gaseosa. Una disminución del Ψ_m en el suelo se asocia con menores θ , causados por vaciamiento de poros cada vez más pequeños y por la disminución del espesor de la película que rodea a las partículas. La reducción de θ puede generar la contracción del suelo, el incremento en su contenido de aire o la ocurrencia simultánea de ambos fenómenos.

Las fases líquida y gaseosa del suelo se encuentran entonces estrechamente relacionadas y son sumamente dinámicas y, consecuentemente, la porosidad ocupada por aire depende de las características del espacio poroso y del contenido de humedad que posea el suelo en cada momento.

El estado de aireación es uno de los más importantes factores que influyen en el desarrollo de las raíces de las plantas. El oxígeno del suelo juega un rol fundamental para el funcionamiento de las plantas. Sus efectos directos están conectados con los procesos fisiológicos que tienen lugar dentro de las plantas, mientras que sus efectos indirectos se refieren a los cambios causados en las propiedades físico-químicas del suelo. El volumen de poros no capilares expresado en porcentaje, cuando el suelo se encuentra en capacidad de campo, se conoce como capacidad de aireación. Se excluyen los poros capilares pues al encontrarse ocupados por agua, la difusión del oxígeno se reduce drásticamente.

El objetivo de este trabajo fue determinar las relaciones aire - agua del suelo, entre la situación de base y luego del primer ciclo del cultivo a fin de monitorear la resiliencia del suelo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuaron curvas de retención hídrica con muestras de suelo inalteradas, provenientes de sitios sin disturbar y de subparcelas del ensayo de caña de azúcar iniciado en el año 2013 en la EEA Famaillá (Tucumán). El sitio experimental presentaba al comienzo

del ensayo un prolongado historial de monocultivo de caña de azúcar, bajo el método tradicional de producción. En los últimos dos años previos a su inicio, fue realizado un cultivo de soja implantado con siembra convencional y laboreo del suelo, siendo posteriormente abandonado durante un año a la vegetación natural de pastizal. Las diferentes subparcelas quedaron establecidas de acuerdo con los tratamientos y subtratamientos aplicados, los cuales se detallan en la Tabla 2.1.

El diseño experimental es en bloques completos con parcelas divididas. En cada uno de los tres bloques se mantuvieron sitios sin disturbar, a fin de monitorear la evolución natural del suelo. Las muestras de suelo analizadas en este estudio fueron obtenidas de la trocha, luego de efectuada la primera cosecha de la caña, y de los sitios inalterados durante el año 2014 a profundidades de 0 a 100 mm y de 100 a 200 mm para caracterizar dos estratos dentro del horizonte A.

Tratamiento	Subtratamiento	Denominación
Forma de labranza	Forma de cosecha	subparcelas
Convencional	Convencional	1. Conv Conv
	Reducida	2. Conv Red
En franjas	Convencional	3. Franjas Conv
	Reducida	4. Franjas Red

TABLA 2.1: Tratamientos y subtratamientos aplicados en el ensayo de caña de azúcar en la EEA Famaillá (Tucumán).

Para obtener los datos necesarios para elaborar las curvas mencionadas, se utilizó un equipo extractor de presión membrana (Soil-Moisture) existente en el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos del Instituto de Ingeniería Rural (IIR-CIA-CNIA-INTA). El procedimiento operativo y de análisis utilizado se basó en la metodología propuesta en el Agriculture Handbook N°60 (USDA). Las muestras de suelo fueron colocadas en los contenedores correspondientes, hidratadas lentamente y una vez húmedas, se mantuvieron durante 48 horas en contacto con agua destilada para alcanzar la saturación. Las presiones de trabajo empleadas fueron equivalentes a 10, 20, 60, 120, 330, 1000, 2500, 6250 y 15000 cm de columna de agua. En cada ciclo de carga, se dejó transcurrir el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio entre la presión actuante y la

retención del agua por parte del suelo. Una vez alcanzado este objetivo, las muestras fueron pesadas en una balanza electrónica con resolución de 0,01 g y sometidas a un nuevo ciclo hasta alcanzar las 15 atmósferas de presión.



Figura 2.1: Equipo extractor de presión membrana (Soil-Moisture) utilizado en la obtención de los datos necesarios para confeccionar las curvas de retención hídrica.

Las curvas de retención hídrica se construyeron graficando la humedad gravimétrica en función del logaritmo de la columna de agua medida en centímetros (pF) que equivale a la succión con que es retenida el agua en el suelo (potencial mátrico). Para tal fin se efectuaron regresiones utilizando polinomios de cuarto grado. Se calculó el agua útil a cada profundidad y, relacionando dichas curvas con los datos de densidad aparente, de partícula y la expansión-contracción que experimenta el suelo frente a los cambios de humedad, fueron calculados los porcentajes de poros con aire a capacidad de campo y el volumen unitario de mesoporos mayores y macroporos. Los cambios de volumen se estimaron a partir de la contracción observada en las muestras de densidad aparente, que fueron obtenidas con diferentes niveles de humedad. Estos datos fueron ajustados utilizando modelos no lineales logísticos, con una ecuación similar a la utilizada por Mc Garry & Malafant (1987).

3. RESULTADOS

3.1. Curvas de retención hídrica

En la figura 3.1.1 se representan los contenidos de humedad gravimétrica (θ_g) en función del potencial mátrico del suelo (Ψ_m), expresado como el \log_{10} de la altura de la columna de agua en centímetros (pF), a profundidades de 0 a 10 cm.

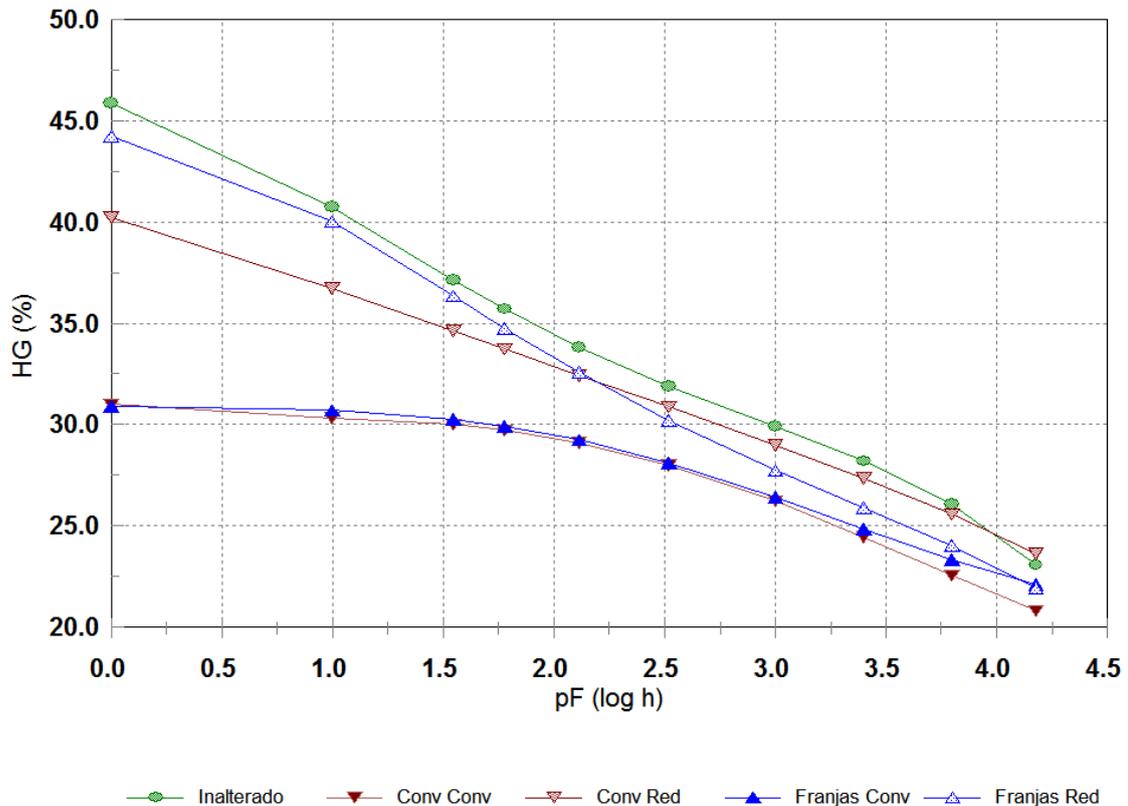


FIGURA 3.1.1: Curvas de retención hídrica obtenidas a partir de muestras de suelo extraídas del horizonte A de 0 a 10 cm de profundidad en el año 2014. Referencias: HG (%) humedad gravimétrica en porcentaje; pF: logaritmo de la columna de agua en cm; Inalterado: sitios sin disturbar. Conv Conv: subparcelas con labranza y cosecha convencional; Conv Red: subparcelas con labranza convencional y cosecha reducida; Franjas Conv; subparcelas con labranza en franjas y cosecha convencional; Franjas Red: subparcelas con labranza en franjas y cosecha reducida.

A un pF igual a cero, todos los poros se encuentran saturados con agua. La ausencia de aire implica la no existencia de meniscos, debido a lo cual, el Ψ_m también es cero. En este punto, el contenido de humedad es fiel reflejo del volumen del espacio poroso que posee el suelo. Al comparar los puntos de intercepción de las curvas con el eje de las ordenadas, pueden distinguirse dos grupos. El de mayor porosidad, incluye las curvas de

los sitios sin disturbar y las de subparcelas que tuvieron cosecha reducida. El de menor porosidad se corresponde con las subparcelas con cosecha convencional, sin que puedan diferenciarse aquellas que provienen de labranza convencional o de labranza en franjas. En este último grupo, la humedad gravimétrica se mantiene prácticamente constante hasta niveles de pF de 1,8 (60 cm de columna de agua), indicando muy escasos volúmenes de poros de diámetro superior a los 50 μm . En la tabla 3.1.1 se detalla la humedad gravimétrica y volumétrica en saturación, en capacidad de campo, en el coeficiente de marchitez permanente y el agua útil.

Tratamiento	Sub Tratamiento	Humedad gravimétrica ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)				Humedad volumétrica ($\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$)			
		Sat	CC	CMP	Agua útil	Sat	CC	CMP	Agua útil
Labranza convencional	Convencional	0,310	0,288	0,208	0,080	0,420	0,400	0,309	0,091
	Reducida	0,402	0,333	0,237	0,096	0,475	0,413	0,313	0,100
Labranza en franjas	Convencional	0,309	0,296	0,221	0,075	0,415	0,403	0,325	0,079
	Reducida	0,443	0,309	0,219	0,089	0,478	0,378	0,284	0,093
Inalterado		0,459	0,342	0,231	0,111	0,506	0,399	0,290	0,109

TABLA 3.1.1: Horizonte A. Año 2014. Profundidad 0,0 a 100 mm. Contenido de agua gravimétrica y volumétrica en saturación, capacidad de campo, coeficiente de marchitez permanente y agua útil, en suelo inalterado y en los diferentes tratamientos y subtratamientos. Referencias: Tratamiento: forma de implantación del cultivo. Subtratamiento: forma de cosecha. Sat: saturación; CC: capacidad de campo; CMP: coeficiente de marchitez permanente.

Dentro del rango de potenciales mátricos que se corresponden con los contenidos de humedad del suelo entre capacidad de campo y el coeficiente de marchitez permanente, aún pueden distinguirse los grupos indicados con anterioridad, aunque las diferencias entre uno y otro se redujeron apreciablemente. El agua útil en la capa superficial del horizonte A, de 100 mm de espesor, fue de 11 mm para los sitios inalterados y fluctuó entre 9,3 y 10 mm en la subparcelas con cosecha reducida. En el caso de las subparcelas con cosecha convencional, el valor de este parámetro se mantuvo entre 8 y 9 mm.

En la figura 3.1.2 se presentan las curvas de retención hídrica del horizonte A en el rango de profundidad de 100 a 200 mm. Puede percibirse que, pese a algunos cambios de magnitud, se mantiene la tendencia observada en la capa más superficial del suelo,

correspondiéndole a los sitios inalterados y a las subparcelas con cosecha reducida mayores niveles de humedad gravimétrica a iguales valores de pF .

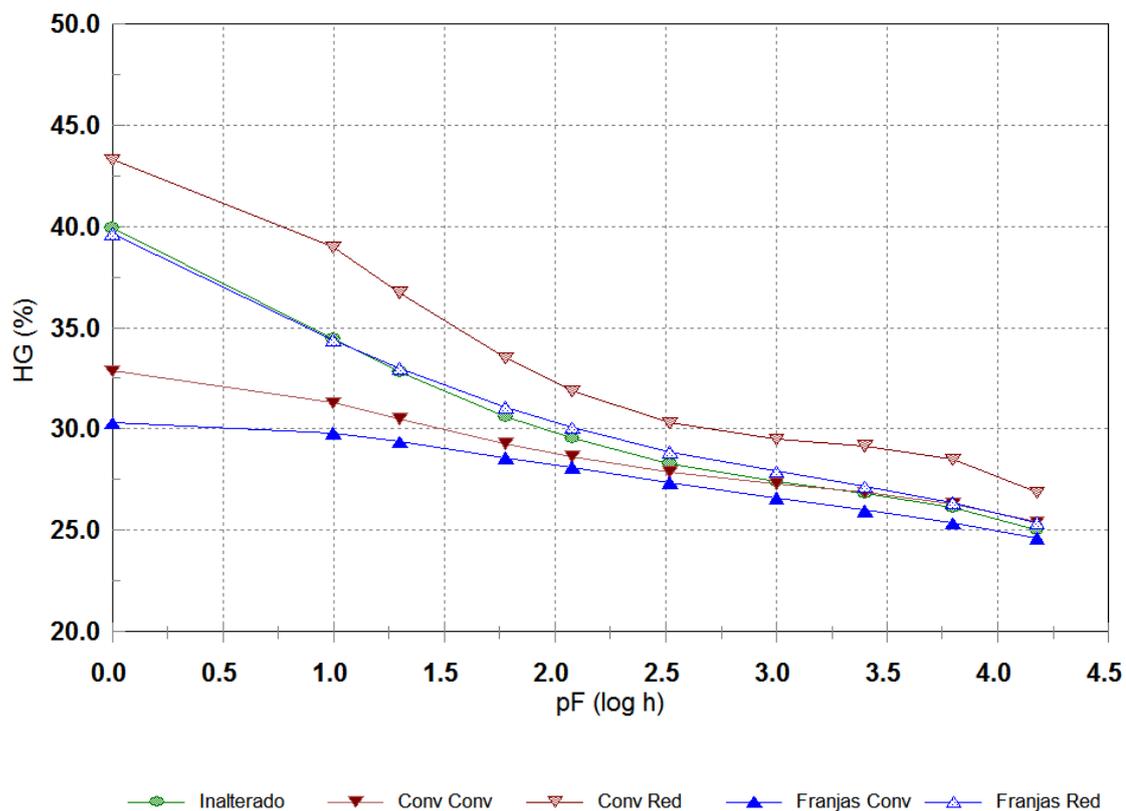


FIGURA 3.1.2: Curvas de retención hídrica obtenidas a partir de muestras de suelo extraídas del horizonte A de 100 a 200 mm de profundidad en el año 2014. Referencias: HG (%) humedad gravimétrica en porcentaje; pF : logaritmo de la columna de agua en cm; Inalterado: sitios sin disturbar. Conv Conv: subparcelas con labranza y cosecha convencional; Conv Red: subparcelas con labranza convencional y cosecha reducida; Franjas Conv; subparcelas con labranza en franjas y cosecha convencional; Franjas Red: subparcelas con labranza en franjas y cosecha reducida.

Los cambios de magnitud mencionados obedecen principalmente al mayor efecto de la labranza sobre una capa de estructura masiva, como la que presenta este horizonte en el rango de 100 a 200 mm de profundidad y, a ese particular ordenamiento de la fracción mineral del suelo. Estos cambios de magnitud pueden observarse tanto en los valores de pF que se corresponden con los mayores tamaños de poros, como en aquellos que determinan la capacidad de retención de agua en el suelo (Tabla 3.1.2). Al comparar estos resultados con los obtenidos en la capa más superficial del horizonte A (Tabla 3.1.1), es

posible apreciar el incremento en los contenidos de humedad gravimétrica en el punto de marchitez permanente, que fluctuó entre un mínimo de 24,7 % en las subparcelas con labranza convencional y cosecha reducida y un máximo de 26,9 % en las subparcelas con labranza y cosecha convencional.

El incremento de este parámetro redujo la pendiente de las curvas de retención hídrica en el rango de humedad del suelo disponible para el cultivo. El agua útil entre los 100 y 200 mm de profundidad presentó valores mínimos de 2,7 a 3,1 mm con cosecha convencional y máximos de 4,0 a 5,4 mm con cosecha reducida.

Tratamiento	Sub Tratamiento	Humedad gravimétrica (g·g ⁻¹)				Humedad volumétrica (cm ³ ·cm ⁻³)			
		Sat	CC	CMP	Agua útil	Sat	CC	CMP	Agua útil
Labranza convencional	Convencional	0,329	0,285	0,254	0,031	0,430	0,394	0,363	0,031
	Reducida	0,433	0,314	0,269	0,045	0,483	0,394	0,355	0,040
Labranza en franjas	Convencional	0,303	0,273	0,247	0,026	0,413	0,389	0,362	0,027
	Reducida	0,396	0,310	0,254	0,056	0,466	0,403	0,349	0,054
Inalterado		0,399	0,300	0,251	0,049	0,465	0,392	0,346	0,046

TABLA 3.1.2: Horizonte A. Año 2014. Profundidad 100 a 200 mm. Contenido de agua gravimétrica y volumétrica en saturación, capacidad de campo, coeficiente de marchitez permanente y agua útil, en suelo inalterado y en los diferentes tratamientos y subtratamientos. Referencias: Tratamiento: forma de implantación del cultivo. Subtratamiento: forma de cosecha. Sat: saturación; CC: capacidad de campo; CMP: coeficiente de marchitez permanente.

Es oportuno mencionar que en el año 2013, al evaluar la situación de base, se obtuvieron niveles de agua útil de 18,2 mm y de 15,4 mm por cada 100 mm de suelo, a profundidades de 0 a 100 mm y de 100 a 200 mm respectivamente. Si se aísla el efecto de los tratamientos y de los subtratamientos y se comparan los resultados del año 2013 con el suelo inalterado del año 2014, puede observarse que la capacidad de almacenaje de agua del suelo se redujo prácticamente a la mitad en sus primeros 100 mm y a una tercera parte en la capa más profunda del horizonte A. Se considera que estas diferencias pueden deberse a un efecto residual de la labranza realizada en el cultivo de soja, cuya persistencia pudo medirse aún durante el 2013. Por otra parte, la menor reducción del agua útil en la

capa superficial del horizonte A respecto del valor de referencia obtenido en el 2013, puede atribuirse a la mayor actividad biológica existente en los primeros centímetros del suelo.

3.2 Capacidad de aireación

Horizonte A. Profundidad de 0 a 100 mm

La máxima capacidad de aireación, de todas las situaciones bajo estudio, le corresponde a los sitios inalterados, alcanzando un volumen de $0,0959 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$. Este valor, que expresado en porcentaje es de 9,6%, prácticamente coincide con el 10% que se considera como el límite inferior de una adecuada capacidad de aireación. La forma de manejo que más se aproxima a la de los sitios inalterados es la de labranza en franjas con cosecha reducida, que posee una capacidad de aireación estimada del 9,1 %. En los dos casos mencionados, se alcanzó la humedad de capacidad de campo con un nivel de saturación hídrica del 80,6 %.

Tratamiento	Sub tratamiento	Estado hídrico	θ_g $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	V. esp $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	Va $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	δ_{ap} $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$	e $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$	P %	S %	
Labranza convencional	Convencional	CC	0,288	0,7208	0,0000	0,0004	1,387	0,662	39,8	100,0
		CMP	0,208	0,6757	0,0335	0,0496	1,480	0,558	35,8	86,1
	Reducida	CC	0,333	0,8048	0,0385	0,0479	1,243	0,856	46,1	89,6
		CMP	0,237	0,7554	0,0851	0,1126	1,324	0,742	42,6	73,6
Labranza en franjas	Convencional	CC	0,296	0,7353	0,0051	0,0070	1,360	0,695	41,0	98,3
		CMP	0,221	0,6821	0,0269	0,0395	1,466	0,573	36,4	89,2
	Reducida	CC	0,309	0,8164	0,0741	0,0908	1,225	0,882	46,9	80,6
		CMP	0,219	0,7715	0,1183	0,1533	1,296	0,779	43,8	65,0
Inalterado		CC	0,342	0,8585	0,0824	0,0959	1,165	0,979	49,5	80,6
		CMP	0,231	0,7967	0,1320	0,1656	1,255	0,837	45,6	63,6

TABLA 3.2.1: Parámetros físicos del suelo en capacidad de campo (CC) y en coeficiente de marchitez permanente (CMP) en sitios inalterados y en subparcelas. Horizonte A de 0 a 100 mm. Año 2014. Referencias: θ_g : humedad gravimétrica; V. esp: volumen específico; Va: volumen ocupado por aire; δ_{ap} : densidad aparente; e: relación de vacíos; P: porosidad; S: saturación.

Las subparcelas con labranza convencional y cosecha reducida, alcanzan el umbral del 10 % de aireación si su contenido de humedad se reduce a $0,252 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ lo cual equivale a un 76 % de su capacidad de campo. En el caso de los sitios inalterados, se llega a ese límite con una humedad de $0,335 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ a un 98 % de la capacidad de campo, mientras que las subparcelas con labranza en franjas y cosecha reducida lo hacen a una humedad de $0,284 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ a un 92 % de la capacidad de campo. El resto de las subparcelas no alcanzan ese umbral de aireación dentro del rango de agua aprovechable por el cultivo.

Horizonte A. Profundidad de 100 a 200 mm

A diferencia de lo observado en los primeros 100 mm del horizonte A, ninguna de las situaciones bajo estudio presenta niveles de capacidad de aireación que puedan ser considerados como aceptables. Este hecho fue advertido al evaluar la situación de base durante el año 2013. En el caso del suelo inalterado y siguiendo una tendencia similar a la mencionada al analizar las curvas de retención hídrica, la capacidad de aireación medida en 2014 se redujo a aproximadamente la mitad de la obtenida en el año 2013.

Tratamiento	Sub tratamiento	Estado hídrico	θ_g $g \cdot g^{-1}$	V. esp $cm^3 \cdot g^{-1}$	V_a $cm^3 \cdot g^{-1}$	δ_{ap} $g \cdot cm^{-3}$	e $cm^3 \cdot cm^{-3}$	P %	S %	
Labranza convencional	Convencional	CC	0,285	0,7228	0,0044	0,0061	1,384	0,666	40,0	98,5
		CMP	0,254	0,7016	0,0135	0,0193	1,425	0,618	38,2	95,0
	Reducida	CC	0,314	0,7959	0,0482	0,0606	1,256	0,835	45,5	86,7
		CMP	0,269	0,7584	0,0558	0,0735	1,319	0,749	42,8	82,8
Labranza en franjas	Convencional	CC	0,273	0,7016	0,0000	0,0000	1,425	0,618	38,2	100,0
		CMP	0,247	0,6806	0,0003	0,0004	1,469	0,569	36,3	99,9
	Reducida	CC	0,310	0,7705	0,0265	0,0344	1,298	0,776	43,7	92,1
		CMP	0,254	0,7283	0,0406	0,0558	1,373	0,679	40,4	86,2
Inalterado		CC	0,300	0,7636	0,0303	0,0397	1,310	0,761	43,2	90,8
		CMP	0,251	0,7244	0,0401	0,0554	1,380	0,670	40,1	86,2

TABLA 3.2.2: Parámetros físicos del suelo en capacidad de campo (CC) y en coeficiente de marchitez permanente (CMP) en sitios inalterados y en subparcelas. Horizonte A de 100 a 200 mm. Año 2014. Referencias: θ_g : humedad gravimétrica; V. esp: volumen específico; V_a : volumen ocupado por aire; δ_{ap} : densidad aparente; e: relación de vacíos; P: porosidad; S: saturación.

4. CONSIDERACIONES FINALES

A partir de las determinaciones efectuadas sobre las muestras de suelo obtenidas en la trocha, luego del primer ciclo del cultivo, pudo observarse un marcado efecto de la forma de cosecha sobre la capacidad de retención hídrica del horizonte A. La principal diferencia entre la cosecha convencional y la de tránsito reducido se manifestó en la zona de menores potenciales mátricos, que es la que se corresponde con los mayores diámetros de poros, afectando a todo el espesor de este horizonte. En el rango de agua útil, en cambio, el efecto de los subtratamientos tuvo más intensidad a mayor profundidad y principalmente, en el tratamiento sin labranza previa. En este estrato, el agua disponible es prácticamente nula, existiendo un elevado umbral de humedad remanente no aprovechable para el cultivo. Los sitios en donde no se aplicaron tratamientos ni subtratamientos también presentaron en el año 2014 un importante incremento del grado de deterioro de su espacio poroso, principalmente en su capa más profunda y de menor actividad biológica, indicando que el suelo aún no ha alcanzado su estado de equilibrio. A pesar de ello, en los primeros 100 mm de estos sitios inalterados, se obtuvo la mejor capacidad de aireación de todas las situaciones analizadas. Sólo resultó semejante a ésta, la capacidad de aireación de la subparcelas con labranza en franjas y tránsito reducido. En la capa más profunda del horizonte A, este parámetro se aproximó a cero en todas las situaciones analizadas.

5. BIBLIOGRAFÍA

Chan, K.Y., A. Oates, A.D. Swan, R.C. Hayes, B.S. Dear and M.B. Peoples. 2006. Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. *Soil Till. Res.* 89, 13-21.

Czyz, E.A. 2004. Effect of traffic on soil aeration, bulk density and growth of spring barley. *Soil Till. Res.* 79, 153-166.

Mc Garry, D. and K.W.J. Malafant. 1987. The analysis of volume change in unconfined units of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:290-297.

Pagliai, M., N. Vignozzi and S. Pellegrini. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil & Tillage Research* 79 (2004) 131–143

Ruud, P.B., J.P.M. Witte, P.M. van Bodegom, J.C. van Dam and R. Aerts. 2008. Critical soil condition for oxygen stress to plant roots: Substituting the Feddes-function by a process-based model. *Journal de Hydrology* 360: 147-165.

Soane, B.D. and C. van Ouwerkerk. 1994. Soil compaction problems in world agriculture. In: Soane, B.D., van Ouwerkerk, C. (Eds.), *Soil Compaction and Crop Production. Developments in Agricultural Engineering*, vol. 11. Elsevier, Amsterdam, 1-21.

Soane, B., P. Blackwell, J. Dickson and D. Painter. 1982. Compactation by Agricultural Vehicles: A Review. *Scottish Institute of Agricultural Engineering Tec. Report N 5.*

United States Department of Agriculture - USDA. 1954. *Agriculture Handbook N° 60. Soil and Water Conservation Research Branch Agricultural Research Service.* Ed. L.A. Richards. 166 pp.

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