

DEGRADACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE DOS SUELOS DEL CORDÓN HORTÍCOLA PLATENSE. ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

RICARDO ANDREAU; PABLO GELATI; MAURO PROVAZA; DIEGO BENNARDI; DANIEL FERNÁNDEZ & MABEL VÁZQUEZ

Recibido: 17-05-12

Recibido con revisiones: 11-10-12

Aceptado: 16-10-12

RESUMEN

La producción hortícola/florícola bajo cubierta requiere un manejo intensivo con riego, fertilizaciones y labranzas permanentes. Esto conduce a una degradación difícil de revertir. Entre las problemáticas se encuentran las derivadas de la sodicidad, salinidad, presencia de sustancias tóxicas para los vegetales, pérdida de materia orgánica y fertilidad física. Objetivos: a) evaluar el impacto progresivo hasta 21 años de uso intensivo bajo cubierta sobre diferentes propiedades químicas y físico-químicas en dos suelos del área; b) analizar el efecto de la aplicación de diferentes enmiendas orgánicas y químicas sobre variables químicas, físico-químicas y físicas, en un suelo Argiudol vértico representativo de la región con 14 años de uso continuo en invernáculo, a los fines de seleccionar indicadores de calidad. Suelos: Argiudol vértico Serie Arturo Seguí. Antecedentes: 0 -21 años de cultivo bajo cubierta. Análisis: suelo (pH, conductividad eléctrica(CE), RAS, carbono orgánico total(COT) y particulado(Cp), N total(Nt), P extractable, NO₃⁻; densidad aparente(Dap), porosidad (P), estabilidad estructural (DMP), agua de riego (CE, cationes y aniones), abonos orgánicos (materia orgánica, pH, Na, humedad). Tratamientos correctores: T0 (Testigo), T1 (Cáscara de arroz +Yeso+ Azufre), T2 (Compost + Yeso + Azufre), T3 (Cama de pollo + Yeso + Azufre), T4 (yeso), T5 (azufre), T6 (yeso + azufre). Se comprobó un deterioro progresivo de las cualidades productivas de los suelos a causa del aumento lineal del pH y curvilíneo de la sodicidad (RAS) y la salinidad (CE), disminución curvilínea del COT e incrementos irregulares de P extractable, muy elevados en algunos casos. Los tratamientos con agregado de cáscara de arroz y cama de pollo, ambos con adición de yeso y azufre fueron los más efectivos en términos generales para el control de la pérdida de materia orgánica (COT, CP) y propiedades físicas relacionadas (DMP, P, Dap) afectadas por el uso en un invernáculo con 14 años de antigüedad productiva.

Palabras clave. Sodicidad, salinidad, estabilidad estructural, materia orgánica.

PHYSICAL AND CHEMICAL DEGRADATION OF TWO HORTICULTURAL SOILS OF LA PLATA. ALTERNATIVE TREATMENT

ABSTRACT

Horticultural and floricultural in greenhouse production requires intensive management with irrigation, fertilization and permanent tillage. This leads to irreversible soil degradation. Among the problems are those derived by sodicity, salinity, presence of toxic vegetables and loss of organic matter and physical fertility. Objectives: a) assess the impact of intensive greenhouse production of different chemical and physicochemical properties in two soils of the area during 21 years, b) analyze the effect of the application of different organic and chemical amendments on chemical, physical and physical-chemical variables on a Vertic Argiudol soil representative of the region with 14 years of continuous use in greenhouses, in order to select quality indicators. Soils: Serie Arturo Seguí. Antecedents: 0-21 years of cultivation under cover. Analysis: soil (pH, electrical conductivity (CE), RAS, easily oxidizable organic carbon (COT) and particulate carbon (Cp), total N (Nt), extractable P, NO₃⁻, apparent density (Dap), porosity (P), structural stability (DMP)), water irrigation (CE, cations and anions), organic fertilizers (organic matter, pH, Na, humidity). Corrective treatments: T0 (witness), T1 (rice shell + gypsum + sulphur), T2 (compost + gypsum + sulphur), T3 (chicken bed (Cp) + gypsum + sulphur), T4 (gypsum), T5 (sulphur), T6 (gypsum + sulphur). A progressive deterioration of the productive qualities of the soil was confirmed due to the linear increase of pH and sodicity curvilinear (RAS) and salinity (CE), curvilinear decrease of COT and extractable P increases irregularly, very high in some cases. Treatments with rice shell and chicken bed, both gypsum and sulfur addition, were the most effective for the control of the loss of organic matter (COT, Cp) and related physical properties (DMP, P, Dap) affected by use in a greenhouse for 14 years.

Key words. Sodicity, salinity, organic matter, structural stability.

INTRODUCCIÓN

La producción hortícola/florícola bajo cubierta requiere un manejo intensivo que incluye riego, fertilizaciones y labranzas permanentes. La necesidad de amortizar la inversión que significa la construcción de un invernáculo, obliga al productor a realizar cultivos continuados. Las prácticas mencionadas conducen generalmente a fenómenos de degradación química y física difíciles de revertir.

En situaciones de riego bajo cubierta en el cordón hortícola del Gran La Plata, el agua que ingresa al suelo es derivada de acuíferos. Antiguamente era habitual la práctica de retirar los techos, entonces de vidrio, y dejar «lavar» los suelos por la lluvia. En la actualidad esto se hace con menor frecuencia, generalmente en oportunidad del cambio de la cubierta de los invernáculos, actualmente de plástico.

En esa región, como en otros vastos ejemplos de la Argentina, es común encontrar acuíferos de regular calidad para el riego (Auge & Hernández, 1983; Minghinelli, 1995).

Entre las problemáticas habituales se encuentran las derivadas de sodicidad, salinidad, pérdida de materia orgánica y fertilidad física (Andriulo *et al.*, 1998; Barbacone & Costa, 1999; Costa & Aparicio, 1999; Caviglia & Paparoti, 2000; Vázquez *et al.*, 2006 a y b; Vázquez *et al.*, 2008).

El aumento de la concentración de Na afecta la estructura y porosidad de los suelos, alterando la circulación de los fluidos, propiciando la ocurrencia de anegamientos y dificultando la renovación del aire edáfico. Por otro lado, los suelos se tornan excesivamente duros al secarse y se encostran con facilidad, entre otros perjuicios. Estas problemáticas físicas se agravan por la naturaleza textural de la mayor parte de los suelos de la región platense, con elevados contenidos de arcilla y en muchos casos, de tipo expandible, así como por la intensidad de las prácticas de laboreo en este tipo de agricultura intensiva (Alconada, 1996; Alconada & Huergo, 1998; Alconada & Minghinelli, 1998). Paralelamente el Na provoca toxicidades en cultivos sensibles. Los problemas descriptos inciden negativamente sobre el crecimiento de la mayoría de los cultivos hasta, en casos severos, la imposibilidad de instalación de algunos de ellos. En las situaciones más graves, algunos productores florícolas que ocupan superficies menores a las hortícolas, optan por decapitar el suelo de los invernáculos y rellenarlos con tierra extraída de otro lugar, con el perjuicio que esto significa, ya que se trata de un área productiva próxima a grandes centros urbanos, altamente demandantes de alimentos. Los datos obtenidos a partir del Censo Florihortícola 2005 (Ministerio Economía Provin-

cia Bs. As., 2005), arrojan para esta provincia, una superficie de 64.666 ha de producción intensiva. La Plata constituye el 8,5% de la misma (5497 ha). En este distrito la producción bajo cubierta ocupa un lugar preponderante, pues concentra el 67% de la superficie productiva (3683 ha) y aporta el 57% de lo cosechado bajo esta modalidad en la provincia. Estas cifras demuestran la importancia de la conservación de los recursos naturales del área en estudio, sustento de este tipo de producción en la provincia de Buenos Aires.

Los perjuicios derivados del incremento en los niveles Na pueden revertirse, o al menos mitigarse, mediante el empleo de enmiendas dirigidas a provocar el desplazamiento de ese elemento y disminuir el pH, tales como el yeso o el azufre elemental (Costa & Godz, 1999; Longo *et al.*, 2005). Otras enmiendas procuran mejorar la condición física deteriorada. En este sentido se aplican diferentes abonos orgánicos frescos o compostados (Minhas *et al.*, 1995; Cooperband, 2000; Choudhary *et al.*, 2002). Los mismos contribuyen a mejorar la condición física y mantener el balance de materia orgánica en estas situaciones de altas tasas de mineralización, entre otros beneficios. Paralelamente, las enmiendas orgánicas podrían propiciar la lixiviación de Na por síntesis de CO₂ en su proceso de mineralización. En aplicaciones conjuntas de abonos orgánicos y yeso, el Ca de este último tiende a reemplazar al Na en el complejo sorbente, que por otro lado se halla incrementado por la enmienda orgánica (Walker & Bernal, 2008; Qadir *et al.*, 2008; Jalali & Ranjbar, 2009). Ambas acciones promueven una mejora estructural.

En la práctica, la elección de la enmienda y su dosis, responde más a cuestiones de disponibilidad, costo y tradición, que a criterios con sustento científico.

Existen en la actualidad numerosos indicadores de calidad de suelo desarrollados en diferentes ámbitos productivos nacionales e internacionales. Sin embargo, para su empleo en condiciones particulares (suelo, clima, tipo de producción) estos indicadores requieren de calibraciones específicas. En este sentido, se han propuesto tanto medidas físicas, como físico-químicas y químicas. Entre ellas, contenido de materia orgánica, fracciones de la misma, densidad aparente, porosidad, estabilidad estructural, porcentaje de Na intercambiable (PSI) y conductividad eléctrica (CE) (Doran & Parkin, 1994; Campitelli *et al.*, 2010; Parra *et al.*, 2011; Gabioud *et al.*, 2011).

El contenido de C del suelo es dinámico y refleja la historia del balance entre las tasas de acumulación y de

mineralización. Es una de las variables de mayor sensibilidad frente a las prácticas de manejo (Studdert *et al.*, 2008). Cuanto más agresivo es el laboreo, mayor será la disminución del nivel de C en el suelo (Studdert & Echeverría, 2000), situación común en la producción hortícola. Sin embargo, no toda la materia orgánica se comporta de igual manera. Desde el punto de vista productivo y de la calidad de suelo, la dinámica de la materia orgánica total es poco sensible para el estudio de los efectos de las prácticas agronómicas de corto plazo (Tan *et al.*, 2007). Debido a que sus distintas fracciones poseen diferentes tasas de humificación como de mineralización, es posible seleccionar aquellas de mayor sensibilidad a las prácticas de manejo (Haynes, 2000; Six *et al.*, 2002). Es por ello que en los últimos años se han propuesto métodos relativamente simples con el objetivo de evaluar las fracciones más dinámicas para hacer diagnóstico. Los procedimientos analíticos de separación son tanto de naturaleza química, como bioquímicos y físicos, entre estos últimos el C particulado (Cp) (Andriulo *et al.*, 1999; Elliot & Cambardella, 1991; Christensen, 2001; Apezteguía & Sereno, 2002). Dentro de las propiedades físicas, la estabilidad estructural es considerada un atributo sensible a la recuperación o degradación en lapsos relativamente cortos, por tratarse de una propiedad de carácter dinámico (Doran & Parkin, 1994; Wilson *et al.*, 2000; Parra *et al.*, 2011; Gabioud *et al.*, 2011).

Se plantea como hipótesis que el riego y otras prácticas de manejo utilizadas en situaciones de cultivos hortícolas/florícolas bajo cubierta en el Gran La Plata, causan deterioros progresivos de los suelos, posibles de ser controlados a través del agregado de enmiendas orgánicas e inorgánicas. Los objetivos de este trabajo fueron: a) evaluar el impacto progresivo hasta los 21 años de uso intensivo bajo cubierta sobre diferentes propiedades químicas y físico-químicas en dos suelos del área; b) analizar el efecto de la aplicación de diferentes enmiendas orgánicas y químicas sobre variables químicas, físico-químicas y físicas, en un suelo Argiudol vértico representativo de la región con 14 años de uso continuo en invernáculo, a los fines de seleccionar indicadores de calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área y de los suelos empleados

El estudio se llevó a cabo en la localidad de Los Hornos, partido de La Plata, perteneciente a la región Pampa Ondu-

lada, caracterizada por suaves ondulaciones y desarrollada sobre depósitos loésicos. Los suelos en estudio se ubican en áreas bien drenadas y poseen perfiles desarrollados, con horizontes A oscuros, profundos y bien provistos de materia orgánica. Por debajo subyacen horizontes B con fuertes rasgos de iluviación y presencia de arcillas expandibles. En general, tienen media a alta capacidad de intercambio catiónico, consecuencia de la MO y la arcilla. Si bien estos suelos son de elevada capacidad productiva, los tenores de arcilla otorgan moderada a baja permeabilidad con elevada plasticidad y adhesividad, principalmente en los horizontes B (Giménez *et al.*, 1992).

Muestreo y análisis del agua de los acuíferos

A los fines de explicar la dinámica de las variables edáficas, se muestrearon en marzo de 2011 las aguas de riego de los establecimientos productivos cuyos suelos fueron evaluados, dejando funcionar la bomba al menos 30 minutos antes de la recolección. Las muestras se refrigeraron hasta su análisis. Se realizaron las siguientes determinaciones: pH (potenciometría), CE (conductimetría), relación de adsorción de Na (RAS), CO_3H^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- (volumetría ácido-base), Ca y Mg (complejometría con EDTA), K y Na (fotometría de llama) (SAGPyA, 2004).

Suelos y determinaciones para la evaluación del impacto progresivo del uso intensivo

En dos suelos de tipo Argiudol vértico (Suelo 1 y 2), pertenecientes a la Serie Arturo Seguí de la localidad de Los Hornos (Hurtado *et al.*, 2006), partido de La Plata, se realizaron muestreos compuestos (10 submuestras/muestra) a dos profundidades por separado (0-20 y 20-40 cm). La textura superficial de los suelos es franco-arcillo-limosa. En cada tipo de suelo se seleccionaron situaciones con diferente antigüedad de uso: más de 20 años sin cultivo (T), Suelo 1: 7, 14 y 21, Suelo 2: 7, 15 y 20 años bajo producción continua en invernáculo, respectivamente.

Sobre las muestras de suelo secadas en estufa a 40 °C con circulación forzada, molidas y tamizadas por malla de 2 mm, se realizaron los siguientes análisis: pH actual [método potenciométrico, relación suelo:agua de 1:2,5 (p:v)], CE en extracto de pasta saturada (conductimetría), capacidad de intercambio catiónico (CIC), cationes intercambiables y PSI (método del acetato de amonio 1N pH 7), C orgánico total (COT) (digestión húmeda y valoración por volumetría redox con Sal de Mohr), N total (N) digestión húmeda y destilación Kjeldahl, P extractable (método de Bray-Kurtz N° 1). Las determinaciones precedentes se llevaron a cabo mediante metodología desarrollada por SAMLA (SAGPyA, 2004).

Ensayo para la evaluación del efecto de las enmiendas

Se trabajó sobre un suelo perteneciente a la Serie Arturo Segui con 14 años de uso bajo cubierta. La rotación predominante en el sitio fue tomate/pimiento/verdura de hoja. El suelo fue muestreado de 0-30 cm después de una labor con rotativa, herramienta que provoca homogeneización hasta esa profundidad. Se realizaron las siguientes determinaciones: pH actual [método potenciométrico, relación suelo:agua de 1:2,5 (p:v)], CE en extracto de pasta saturada (conductimetría), RAS sobre extracto de saturación (Na mediante fotometría de llama, Ca y Mg por quelatimetría), C orgánico total (COT) (digestión húmeda y valoración por volumetría redox con Sal de Mohr), C particulado (Cp) (Galantini, 2005) y Diámetro Medio Ponderado (DMP) (Le Bissonnais, 1996).

Los datos analíticos se consignan en la Tabla 1, donde también se indican los resultados del análisis del suelo virgen aledaño al invernáculo muestreado a igual profundidad.

En este suelo se llevó a cabo un ensayo con diseño completamente al azar con tres repeticiones. Unidades experimentales: parcelas de 8 m x 1,5 m. Los tratamientos aplicados se indican en la Tabla 2. Las enmiendas de tipo orgánico fueron elegidas por ser de amplia difusión en la zona y se trata de productos comerciales. La cama de pollo fue cáscara de arroz utilizada en criaderos de pollos parrilleros. Se realizaron los

siguientes análisis sobre los abonos orgánicos: materia orgánica (MO) (calcinación a 550 °C), pH en pasta (potenciometría), Na total (calcinación, extracción con ácido nítrico, fotometría de llama), humedad (gravimetría posterior a secado a 105 °C). Los resultados de dichos análisis figuran en la Tabla 3. Las enmiendas fueron aplicadas manualmente en octubre de 2010 e incorporadas al suelo con rotativa. Cinco meses después de la aplicación de las enmiendas, se practicó un muestreo de 0-20 cm con muestras compuestas de 10 submuestras/tratamiento y repetición. El muestreo a posteriori de esta operación facilita la homogeneización del suelo ya que el mismo es cultivado en lomos de 50 cm de altura, los que durante el cultivo desarrollan heterogeneidades espaciales a causa del riego y la fertilización por goteo. Sobre las muestras se realizaron los mismos análisis que en el apartado anterior, adicionando la determinación de densidad aparente (Dap) (método del cilindro) y porosidad total (P) [calculada a partir de la densidad aparente y de partícula (picnometría)] (Blake & Hartge, 1986).

Análisis estadístico

Se realizó análisis de la varianza de las variables medidas y comparación de medias por el Test de Diferencias Mínimas Significativas ($p < 0,05$), previo análisis de cumplimiento de supuestos básicos (Infostat, 2011).

Tabla 1. Datos analíticos del suelo virgen y bajo invernáculo con 14 años de producción utilizado para la evaluación de las enmiendas.

Table 1. Virgin soil and low greenhouse analytical data with 14 years of production used for the evaluation of the amendments.

	pH (1/2,5)	CE dS m ⁻¹	RAS	COT %	Cp %	DMP mm
Suelos virgen	6,2	0,6	0,3	3,7	0,9	2,16
Invernáculo 14 años	7,8	11,8	12	1,8	0,22	1,13

Referencias: CE (conductividad eléctrica), RAS (relación de adsorción de sodio), COT(carbono total), Cp (carbono particulado), DMP (diámetro medio ponderado).

Tabla 2. Tipos y dosis de las enmiendas aplicadas.

Table 2. Types and doses of applied amendments.

Tratamiento	Dosis equivalente
T0 Testigo	-
T1 Cáscara de arroz +Yeso+ Azufre	131,6 m ³ ha ⁻¹ + 500 (Yeso)+ 750 kg ha ⁻¹ (S)
T2 Compost + Yeso+ Azufre	78,9 m ³ ha ⁻¹ + 500 (Yeso)+ 750 kg ha ⁻¹ (S)
T3 Cama de pollo (CP) + Yeso + Azufre	78,9 m ³ ha ⁻¹ (CP) + 500 (Yeso)+ 750 kg ha ⁻¹ (S)
T4 Yeso	500 kg ha ⁻¹
T5 Azufre	750 kg ha ⁻¹
T6 Yeso + Azufre	500 + 750 kg ha ⁻¹

Tabla 3. Características generales de los abonos orgánicos.
Table 3. General characteristics of organic fertilizers.

Abono orgánico	MO	pH	Na total	Humedad
	%		%	%
Cáscara de arroz	79,1	5,9	$8,8 \times 10^{-4}$	6,5
Compost	29,2	4,4	0,1	5,0
Cama de pollo estacionada a la intemperie por 6 meses	51,4	8,4	0,42	6,7

Referencia: MO (materia orgánica).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del impacto del uso del suelo

En la Tabla 4 se ilustran los resultados analíticos del agua de riego muestreada (Agua 1: correspondiente a suelo 1, agua 2: correspondiente a suelo 2). De acuerdo a los resultados se puede calificar a estas aguas como bicarbonatadas sódicas, con escasa salinidad y presencia de NO_3^- . Cabe acotar que la Organización Mundial de la Salud establece un valor de 50 ppm de NO_3^- como límite máximo para la ingesta humana, lo que equivale a 0,81 meq l^{-1} (OMS, 1995). Debe señalarse que si bien ambas muestras registran valores por debajo de ese límite, los mismos deben considerarse como potencialmente riesgosos, dada la variabilidad temporal que habitualmente sufre su concentración. El nivel alcanzado, señala que la fertilización nitrogenada de la región, constituida por altas dosis y frecuencia de uso de este elemento principalmente en primavera-verano, constituye una fuente de contaminación de los acuíferos (Auge *et al.*, 2004). Desde el punto de vista de la salinidad y sodicidad, conforme a Ayers & Wescott (1987) estas aguas pueden calificarse como C1/C2S2, es decir con ligera a moderada salinidad (C1-C2) y sodicidad media en todos los casos (S2). Sin embargo, si se utiliza el concepto de RAS corregido de acuerdo al tenor de CO_3H^- , Ca y CE de estos mismos autores (Tabla 4), la condición de sodicidad aumenta considerablemente, debido a la posibilidad de precipitación de CaCO_3 . Esto es consecuencia

de la menor actividad del Ca y por lo tanto, mayor RAS efectiva en el suelo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores para la misma región (Alconada, 1996; Alconada & Huergo, 1998; Alconada & Minghinelli, 1998).

Si se calcula el carbonato de sodio residual ($\text{CSR} = [\text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_3\text{H}^-] - (\text{Ca} + \text{Mg})$), el mismo oscila entre 2,6 y 6,4, valores considerados elevados desde el punto de vista del perjuicio de la sodicidad (Eaton, 1950). Debe advertirse que estos índices (RAS corregido y CSR) asumen la precipitación completa del Ca y del Mg, proceso que puede variar según la cantidad de agua de riego que pasa a través de la profundidad efectiva de las raíces y del pH de la solución edáfica, por lo que el criterio debe tomarse con ciertas restricciones.

Si se analizan los resultados de la Tabla 5 se constatan incrementos de pH de 0,7-2 unidades respecto de T en superficie con el uso progresivo de los suelos bajo invernaáculo, mientras que subsuperficialmente el incremento fue desde nulo a 0,6 unidades; la CE aumentó entre 4,9-14,9 veces respecto de la inicial en superficie y 3,1-10,6 subsuperficialmente; la RAS desde 9 a 18 veces en superficie y de 3,9 a 8 subsuperficialmente; y el P extractable de 1,5-17 veces en superficie. Paralelamente se evidenciaron disminuciones de 1,3-2 veces de COT y desde nulas a 1,3 veces de N, en ambos casos en superficie. Como puede verse en la Tabla 5 es posible ajustar funciones de regresión

Tabla 4. Características químicas del agua de riego utilizada en los sitios experimentales (1 y 2) del Gran La Plata.

Table 4. Chemical characteristics of irrigation water used in the experimental sites (1 and 2) of the Gran La Plata.

Nº agua	pH (1/2,5)	CE dS m^{-1}	RAS	RASc	CO_3H^-	$\text{CO}_3^{=}$	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
								meq l^{-1}					
1	7,5	0,76	5,24	6,45	7,3	-	1,24	0,61	0,58	1,15	0,63	4,94	0,30
2	7,5	0,70	3,25	3,97	6,7	-	0,66	0,60	0,62	1,66	0,95	3,71	0,40

Referencia: CE (conductividad eléctrica), RAS (relación de adsorción de Na), RASc (corrección de la RAS de acuerdo a Ayers y Wescot (1986) sobre la base del contenido relativo de CO_3H^- , Ca^{2+} y CE).

Tabla 5. Características químicas de dos suelos del Gran La Plata en producción hortícola bajo cubierta de distinta antigüedad de uso y campo natural. Modelos de regresión de dichas características en función de los años de uso.

Table 5. Chemical characteristics of two soils of Gran La Plata in greenhouse production with different ages of use and natural field. Regression models of these characteristics based on years of use.

	Prof. (cm)	Suelo 1				Suelo 1				Regresión Modelo	Probabilidad de la pendiente
		Campo natural	Años de cultivo en invernáculo			Campo natural	Años de cultivo en invernáculo				
			7	14	21		10	16	20		
pH		6,2	7,7	7,2	8,2	7	8,1	7,7	8,1	$pH = 6,80791 + 0,0651899* \sqrt{\text{años}}$	0,02
CE (dS m ⁻¹)		0,58	5,26	8,67	5,77	0,74	8,43	4,92	3,64	$CE = \exp(0,193818 + 0,0931067* \sqrt{\text{años}})$	0,04
RAS	0-20	0,9	10,1	8,1	8,5	0,9	13,2	16,2	13,5	$RAS = 1,76421 + 2,5343* \sqrt{\text{años}}$	0,01
COT (%)		3,69	1,84	2,05	2,11	2,54	2,06	2,00	1,88	$COT = 2,99848 - 0,257376* \sqrt{\text{años}}$	0,02
N (%)		0,39	0,23	0,29	0,27	0,24	0,19	0,27	0,18	$N = 0,304797 - 0,0167391* \sqrt{\text{años}}$	0,24
P ext. (mg kg ⁻¹)		98	215	683	830	48	101	138	74	$P \text{ ext} = \exp(4,39455 + 0,0655086* \sqrt{\text{años}})$	0,18
pH		7,3	7	7,2	7,6	7,1	7,7	7,3	7,6	$pH = 7,15506 + 0,0177215* \sqrt{\text{años}}$	0,14
CE (dS m ⁻¹)		0,94	4,82	4,53	4,67	0,25	2,66	2,19	2,10	$CE = \exp(-0,19965 + 0,0827028* \sqrt{\text{años}})$	0,07
RAS	20-40	1,4	9,6	5,5	10,5	1,6	12,2	9,9	12,8	$RAS = 2,07144 + 2,07608* \sqrt{\text{años}}$	0,01
COT (%)		0,83	1,44	0,93	1,44	1,4	1,21	1,35	0,89	-	-
N (%)		0,09	0,18	0,11	0,18	0,14	0,11	0,13	0,1	-	-
P ext. (mg kg ⁻¹)		5	95	26	79	2	67	61	4	-	-

Referencia: Prof. (profundidad), CE (conductividad eléctrica), RAS (relación de adsorción de Na), COT (carbono orgánico total).

estadísticamente significativas para las variables pH, CE y RAS en superficie en función del tiempo. Si bien el aumento de pH sigue una función lineal, la CE y la RAS describen trayectorias curvilíneas. Mientras que la CE desarrolla una trayectoria exponencial positiva en el período de tiempo estudiado, demostrando el aumento progresivamente mayor de la salinidad con el tiempo, la RAS sigue una tendencia positiva de raíz cuadrada, indicando una desaceleración del proceso de sodificación. Debe señalarse que los suelos bajo estudio no han recibido en el pasado enmiendas para el tratamiento de la sodicidad y el riego no contempló fracción de lavado.

Sin bien la salinidad desarrollada en los primeros 40 cm puede considerarse moderada, es común encontrar superficialmente una capa de alrededor de 1 cm de muy alta conductividad eléctrica. La misma se generaría en la fase de instalación de los cultivos de tomate y pimiento cuando, tratando de estimular el crecimiento de las raíces, se someta a las plantas a un estrés ligero. Al incrementar el intervalo de riego se seca el suelo en superficie y se produce el ascenso de las sales. A título de ejemplo se han registrado valores irregulares, mayores a los 200 dS m⁻¹ en una capa superficial de suelo de 1 cm. Esta cuestión obliga a los productores a realizar modificaciones en las estrategias de

plantación, por ejemplo cultivando en lomos cada vez más altos, con las consecuentes implicancias económicas, necesidad de mayor laboreo y por ende mayor deterioro de la condición física.

Los importantes aumentos en el contenido de P extractable evidenciados, pueden provocar efectos tan perjudiciales como los propios déficits, ya que se trata de un elemento de escasa movilidad y por lo tanto configurando una situación difícil de revertir. Resultados similares obtuvo Alconada *et al.* (2000). Es común encontrar desarrollo diferencial en los cultivos dentro de los invernáculos, por los tenores tan elevados de este elemento como los registrados en el suelo 1.

La función de regresión ajustada para la variable COT en la capa de 0-20 cm, sigue también una trayectoria curvilínea, pero en este caso de tipo negativa. Cabe destacar que esto ocurre a pesar de la elevada tasa y frecuencia de abonos orgánicos usados por los productores, demostrando que aun en esas condiciones el balance de la materia orgánica es negativo. Esta tendencia es acompañada por la del N, aunque con una función estadísticamente no significativa. Es probable que la razón sean las elevadas tasas de fertilización nitrogenada empleadas.

Efecto de las enmiendas

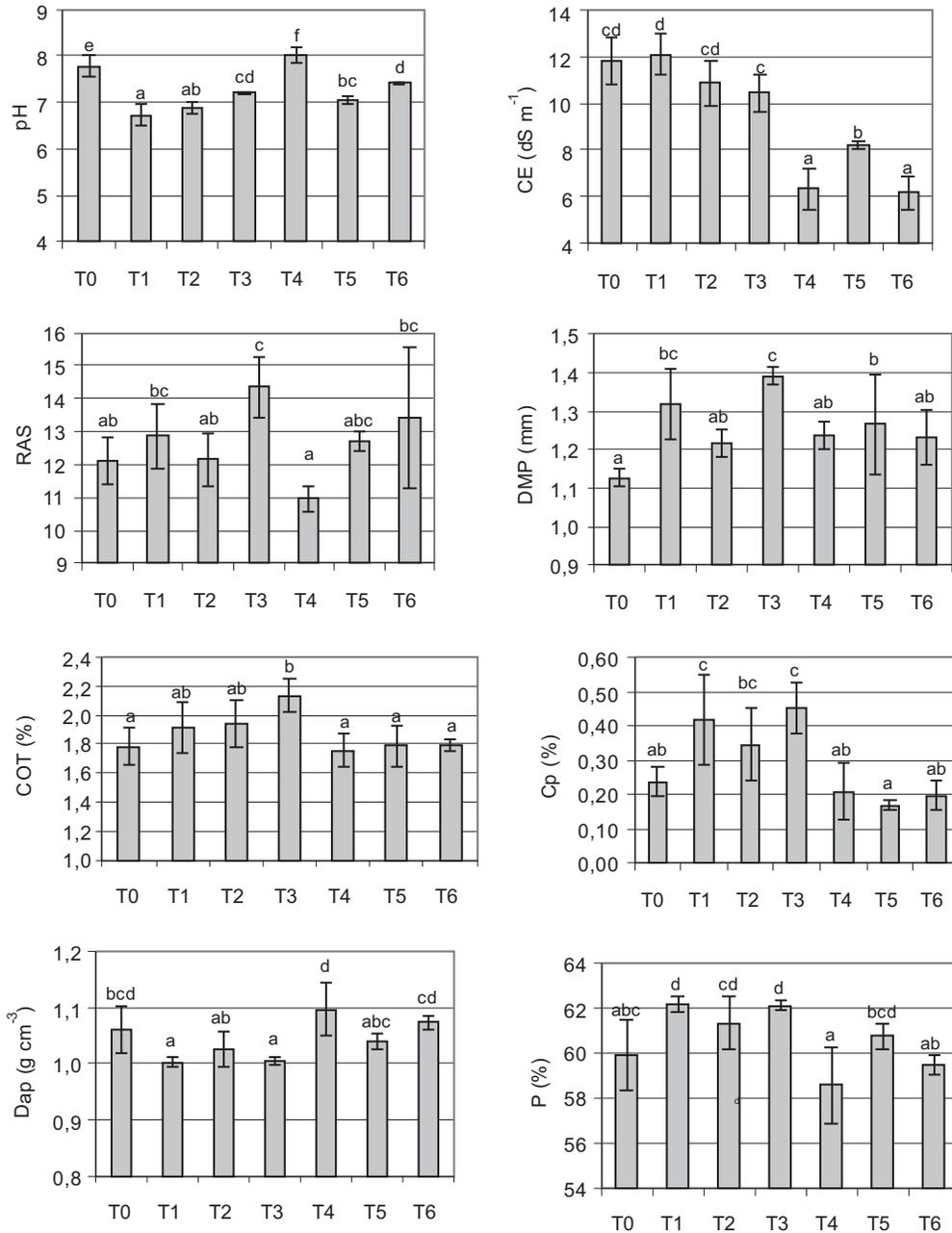
En la Figura 1 se ilustran los resultados de las propiedades químicas y físicas evaluadas cinco meses a posteriori del agregado de las enmiendas.

Como se aprecia en la Tabla 1 el suelo bajo estudio evidenciaba un elevado grado de deterioro respecto de la situación prístina. Los perjuicios estaban constituidos por un considerable aumento tanto de la salinidad como de la sodicidad, pérdida de la materia orgánica, especialmente de la fracción particulada y en consecuencia, deterioro de la estabilidad estructural (DMP). Las condiciones descriptas, ponen en evidencia la no sustentabilidad de estos sistemas productivos y la necesidad de desarrollar estrategias de recuperación y manejo ajustadas localmente. Debe señalarse que estas problemáticas son particularmente perjudiciales en suelos de tipo Argiudol vértico, con abundancia de arcillas y mayoritariamente de tipo expandible. En estas condiciones el deterioro físico ocasionado por el excesivo laboreo, la pérdida de materia orgánica y el aumento de la sodicidad, traen aparejadas importantes impedancias mecánicas y de dinámica de los fluidos, ambas cuestiones de derivación en las posibilidades y niveles productivos.

Los diferentes tratamientos tuvieron distinta efectividad sobre las propiedades evaluadas, por lo que no existe una evidencia estrictamente comprobada de la superioridad de algún tratamiento en particular para todas ellas.

Puede visualizarse una tendencia positiva de los tres tratamientos con enmiendas orgánicas (T1, T2 y T3) tanto sobre el COT como sobre Cp, aunque las diferencias estadísticas permiten afirmar este efecto para el tratamiento T3 ($p < 0,05$) y parcialmente para T1. Si bien el contenido de materia orgánica de la cáscara de arroz (T1) es superior al de cama de pollo (T3) (Tabla 3), la naturaleza de sus componentes mostraría que este último abono integrado por cáscara de arroz, un material lignificado, en combinación con estiércol sería más dinámico en su proceso de transformación del C. Cabe advertir, sin embargo, que la magnitud de la variación es mucho mayor en el Cp que en el COT. A título de ejemplo T3 incrementa un 90% el Cp, mientras que sólo lo hace en un 20% en COT. El método utilizado en este trabajo para evaluar Cp cuantifica el C asociado a la fracción superior a los 100 μm y por lo tanto menos estabilizada con las arcillas. A medida que la materia orgánica avanza en la humificación y se asocia en complejos húmico-arcillosos se torna más estable. Por lo tanto el C evaluado (Cp) sería relativamente joven y más dinámico en términos de mineralización. Este aspecto justificaría su sensibilidad a prácticas de manejo en el corto a mediano plazo. Varios investigadores en la Argentina han obtenido resultados satisfactorios para evaluar prácticas de manejo a través de fraccionamientos físicos (Quiroga *et al.*, 1996; Vázquez *et al.*, 2001; Hevia *et al.*, 2003; Píccolo *et al.*, 2004; Galantin, 2005; Studdert *et al.*, 2008) en producciones extensivas. Los resultados obtenidos en este trabajo justificarían su empleo también en cultivos intensivos.

Estas diferencias en la materia orgánica podrían justificar algunos de los cambios acontecidos en las variables físicas. Los tratamientos mencionados, T1 y T3, producen diferencias significativas ($p < 0,05$) en el sentido de un aumento en DMP y Py de disminución de Dap. Debe destacarse lo promisorio del hecho, ya que se trata de una única aplicación de las enmiendas y sólo un período de cinco meses entre dicha aplicación y la evaluación edáfica. Dentro de las propiedades físicas evaluadas, el DMP arrojó las mayores diferencias. A título de ejemplo en T3, mientras que P se incrementó un 3,6% y la Dap disminuyó un 5,4%, el DMP aumentó un 23,6%. La estabilidad estructural es un atributo sensible que puede indicar tendencias a la recupera-



Referencia: T0: testigo; T1: cáscara de arroz + yeso + S; T2: composta + yeso + azufre; T3: cama de pollo + yeso + azufre; T4: yeso; T5: azufre; T6: yeso + azufre.

Figura 1. pH, conductividad eléctrica (CE), relación de adsorción de Na (RAS), estabilidad estructural (DMP), carbono orgánico total (COT), C particulado (Cp), densidad aparente (Dap) y porosidad (P) del suelo del invernáculo con 14 años de antigüedad de uso, 5 meses a posteriori del agregado de las enmiendas.

Figure 1. pH, electrical conductivity (EC), Na adsorption ratio (RAS), structural stability (DMP), total organic carbon (COT), particulate carbon (Cp), bulk density (Dap) and porosity (P) of the greenhouse soil 14 years old use, five months afterwards the addition of amendments.

ción o degradación en lapsos relativamente cortos, por tratarse de una propiedad de carácter dinámico (Doran & Parkin, 1994; Wilson *et al.*, 2000). Por otro lado, Orellana & Pilati (1994) consideran a la estabilidad estructural como un componente importante de la calidad del suelo, dado que sus valores son resultantes de la calidad de los poros, el aporte orgánico y la actividad biológica. Estos aspectos de la calidad edáfica cobran especial relevancia en el contexto de suelos texturalmente finos como los estudiados y en producciones intensivas como la hortícola/florícola.

Los tratamientos T4, T5 y T6 fueron los más efectivos en el control de la salinidad ($p < 0,05$). Mientras que T0 posee un valor de $11,8 \text{ dS m}^{-1}$, estos tratamientos alcanzaron valores comprendidos entre $6,2$ - $8,2 \text{ dS m}^{-1}$, con mayor efectividad para los tratamientos con yeso (T4 y T6). La efectividad de estas enmiendas en el control de la salinidad podría atribuirse a la mejora de la condición de drenaje que generalmente provocan por floculación de los coloides. Cuando las mismas son aplicadas conjuntamente con enmiendas orgánicas (T1, T2 y T3), de alta higroscopicidad, la condición de lavado en el corto plazo es menor. La efectividad de estas enmiendas sobre la sodicidad es poco clara. Si bien T5 y T6 disminuyeron el pH ($p < 0,05$), no afectaron significativamente la RAS, mientras que T4 tendría la mayor tendencia a la disminución de la sodicidad (RAS 10,9) respecto de T0 (RAS 12,1) (dif. est. no sign. $p < 0,05$). Cabe señalar que la cama de pollo se caracteriza por elevado contenido de Na, lo que se refleja en el efecto de T3 sobre la RAS ($p < 0,05$).

Puede señalarse que si bien se han registrado algunas mejoras en las propiedades evaluadas, estas distan considerablemente de la situación virgen del suelo (Tabla 1).

Este trabajo permitió comprobar la sensibilidad de algunos parámetros edáficos para evaluar la degradación de los suelos en producción intensiva bajo cubierta y la existencia de alternativas promisorias de manejo, cuyos efectos deben confirmarse en estudios más prolongados y con reiteraciones del agregado de las enmiendas de mejor desempeño.

CONCLUSIONES

La producción hortícola bajo cubierta en la región del Gran La Plata, empleando riego con agua bicarbonatada sódica, característica de los acuíferos utilizados, deterioró progresivamente (7-10, 14-16 y 20-21 años) las cualida-

des productivas de 2 suelos de tipo Argiudol vértico respecto de las condiciones prístinas.

Los efectos fueron:

- aumento lineal del pH.
- aumento de la sodicidad (RAS) y la salinidad (CE).

Mientras que la sodicidad siguió una tendencia que señala una desaceleración del proceso de sodificación, la salinidad aumentó progresivamente con el tiempo evaluado

- disminución del COT con trayectoria curvilínea.
- incrementos irregulares de P extractable, muy elevados en algunos casos.

Los tratamientos con agregado de cáscara de arroz ($131 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y cama de pollo ($78,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), ambos con adición de yeso (500 kg ha^{-1}) y azufre (750 kg ha^{-1}) fueron los más efectivos en términos generales para el control de la pérdida de materia orgánica (COT, CP) y propiedades físicas relacionadas (DMP, P, Dap) afectados por el uso en un invernáculo con 14 años de antigüedad productiva.

Los tratamientos con aplicación de yeso (500 kg ha^{-1}) S (750 kg ha^{-1}), y ambos combinados, fueron los más eficientes en la disminución de la salinidad.

Ninguno de los tratamientos se mostró efectivo para el control de la sodicidad en el plazo evaluado.

Esto señala la no sustentabilidad de estos sistemas productivos y la conveniencia del empleo de estos indicadores de calidad para su evaluación, destacándose el desempeño del Cp para evaluar la dinámica de la materia orgánica y el DMP para el seguimiento de las propiedades físicas.

AGRADECIMIENTO

Se agradece la colaboración del Dr. O. Valenzuela y la EEA San Pedro por la realización de parte de los análisis químicos de aguas y suelos utilizados en el presente trabajo

BIBLIOGRAFÍA

- Alconada, M. 1996. Deterioro físico-químico de un Vertisol con cultivos protegidos en el partido de La Plata, Bs. As., Argentina. Actas XIII Congreso Latinoamericano Ciencia del Suelo. Brasil. Versión electrónica.
- Alconada, M & L Huergo. 1998. Degradación de suelos con cultivos protegidos: Tomate. Influencia de la calidad de agua de riego. I Reunión de Producción Vegetal, N.O.A., Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. Versión electrónica.

- Alconada, M & F Minghinelli. 1998. Calidad del agua de riego según diferentes criterios: su influencia sobre la salinización - alcalinización de suelos con cultivos protegidos en el Gran La Plata. XVI° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Carlos Paz, Argentina, 4 - 7 mayo, p. 229- 230.
- Alconada, M; L Giuffre; L Huergo & C Pascale. 2000. Hiperfertilización con fósforo de suelos Vertisoles y Molisoles en cultivo de tomate protegido. Avances en Ingeniería Agrícola 1998-2000. Editorial, Facultad de Agronomía 343-347.
- Andriulo, A; ML Galetto; C Ferreyra; G Cordone; C Sasal; F Abrego; J Galina & F Rimatori. 1998. Efecto de 11 años de riego complementario sobre algunas propiedades del suelo. I: Propiedades físico-químicas. XVI° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Carlos Paz, Argentina, 4 -7 mayo, p. 247- 248.
- Andriulo, A; J Galantini; C Pecorari & E Torioni. 1999. Materia orgánica del suelo en la Región Pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica* XXXIV (5-6): 475-489.
- Apezteguía, H & R Sereno. 2002. Influencia de los sistemas de labranza sobre la cantidad y calidad del carbono orgánico del suelo. *Agricultura Técnica* 62(3): 418-426.
- Auge, MP & MA Hernández. 1983. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la llanura bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de llanuras dilatadas. Hidrología de las Grandes Llanuras. Actas del Coloquio de Olavarría, Buenos Aires. UNESCO - CONAPHI, Vol. II, p. 1019-1042.
- Auge, M; R Hirata & F López Vera. 2004. Vulnerabilidad de contaminación con nitratos del acuífero Puelche en La Plata, Argentina. Informe del Centro de Estudios de América Latina (CEAL) U.A.M. S.C.H. 187 p. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/Nitratos.pdf>. Consultado el 16/2/2012
- Ayers, RS & DW Wescot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. Roma. N° 29 (Rev.1) 173 p.
- Barbacone, A & JL Costa. 1999. Efecto de la calidad de agua para riego sobre algunas propiedades químicas de dos suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. XIV° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Pucón, Chile, 8-12 noviembre, p. 57.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk density (Cap.13): 363-375. In: A. Klute (ed). *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods*. Second edition. Madison. Wisconsin, USA. 1173 p.
- Campitelli, P; A Aoki; O Gudelj; A Runenacker & R Sereno. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del Suelo* 28(2): 223-231.
- Caviglia, OP & OF Papparotti. 2000. Efecto del uso de aguas de riego de calidad dudosa sobre algunas propiedades químicas del suelo en el centro oeste de Entre Ríos. XVII° Argentino de la Ciencia del Suelo (Comisión IV, Panel N°15), Mar del Plata, Argentina, 11-14 abril.
- Choudhary, OP; AS Josan & MS Bajwa. 2002. Role of organic materials in mobilizing intrinsic calcium carbonate to ameliorate sodic irrigations. Proceedings of the 17th World Congress Soil Science, Symposia No. 34, Abstract vol. III (Symposia 22-36), p. 1162.
- Christensen, BT. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *Eur. J. Soil Sci.* 52(3): 345.
- Cooperband, L. 2000. Sustainable use of byproducts in land management. In: Bartels JM & WA Dick (eds). *Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-Products*. SSSA Book Series N° 6, Madison, WI. USA. 215-235.
- Costa, JL & V Aparicio. 1999. Efecto de la calidad del agua sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos bajo riego suplementario en el sud-este de la provincia de Buenos Aires en la República Argentina. XIV° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Pucón, Chile, 8-12 noviembre, p. 82.
- Costa, JL & P Godz. 1999. Aplicación de yeso a un Natracuol del sudeste de la pampa Deprimida. *Ciencia del Suelo* 17(2): 21-27.
- Doran, J & T Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. *Soil Sci Soc* 677: 3-21.
- Eaton, FM. 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Sci.* 69: 123- 133.
- Elliot, ET & CA Cambardella. 1991. Physical separation of soil organic matter. *Agric. Ecosystems Environ.* 34: 407-419.
- Gabioud, EA; MG Wlson & MC Sasal. 2011. Análisis de la estabilidad de agregados por el método de Le Bissonnais en tres órdenes de suelos. *Ciencia del Suelo* 29(2) 129-139.
- Galantini, J. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: *Tecnologías en análisis de suelos. Cap. IV. Carbono orgánico: 103-116*. Ed. Marban L., Rato S. AACS. 215 p.
- Giménez, JE; MA Hurtado; M Cabral & M Da Silva. 1992. Estudio de suelos del partido de La Plata. Etapa I: Sector Oeste-Noroeste. Convenio U.N.L.P. -CFI, 179 p.
- Haynes RJ. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soil in New Zealand. *Soil Biol. & Biochem.* 32: 211-219
- Hevia, GG; DE Buschiazzi; EN Hepper; AM Urioste & EL Antón. 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116: 265-277.
- Hurtado, M; J Giménez & M Cabral *et al.* 2006. Análisis ambiental del Partido de La Plata. Aportes al ordenamiento territorial. CISAUA, Ministerio Asuntos Agrarios. Universidad Nacional de La Plata Ed. 124 p.
- Infostat Professional. 2011. Software con licencia institucional para la FCAYF/UNLP.
- Jalali, M & F Ranjbar. 2009. Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. *Geoderma* 153: 194-204.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* 47: 425-437.
- Longo, A; J Ferratto; M Mondino & R Grasso. 2005. Incorporación de azufre y yeso en suelo Salino-sódico: su efecto sobre el rendimiento y calidad de lechuga bajo invernáculo. *Ciencias Agrarias* 4(1-2): 32-36.
- Minghinelli, F. 1995. Geohidrología ambiental del acuífero freático en las Cuencas de los Arroyos Martín y Carnaval, La Plata. Evaluación impacto ambiental. CIC. 193p.
- Minhas, PS; Sharma & YP Singh. 1995. Response to paddy and wheat to applied gypsum and FYM on an alkali water irrigated soil. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 43: 452-455.

- Ministerio de Economía. Subsecretaría de Coordinación Económica. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Censo Florihortícola de la Provincia de Buenos Aires. 2005. <http://www.ec.gba.gov.ar/estadistica/chfba/censohort.htm>. Consultado el 25/2/2012.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1995. Guías para la Calidad del Agua Potable. Segunda Edición. Ginebra, Vol. 1. Recomendaciones.
- Parra, BJ; AR Becker & MP Cantú. 2011. Condición física de suelos en diferentes sistemas de manejo agrícola del centro sur de Córdoba. *Ciencia del Suelo* 29(2): 241-251
- Piccolo, G; JA Galantini & RA Rosell. 2004. Particulate organic carbon in sustainable agriculture of subtropical soils in Argentina. *Geoderma* 123: 333-341.
- Qadir, M; AS Qureshi & SAM Cheraghi. 2008. Extent and characterisation of salt affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. *Land Deg. Dev.* 19: 214-227.
- Quiroga, AR; DE Buschiazio & N Peinemann. 1996. Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid Argentinian Pampas. *Soil Sci.* 161: 104-108.
- SAGPyA. 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos (SAMLA). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina. Dirección de Producción Agrícola. Versión Electrónica.
- Six, J; R Conant; E Paul & K Paustian. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241: 155-176.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1496-1503.
- Studdert, G; G Domínguez; M Eiza; C Videla & H Echeverría. 2008. Materia orgánica particulada y su relación con la fertilidad nitrogenada en el sudeste bonaerense. p.53-70. En: Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina. Ed. J Galantini. Ed. Universidad Nacional del Sur. Argentina. 308 p.
- Tan, Z; R Lal; L Owens & RC Izaurralde. 2007. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil & Tillage Research* 92: 53-59.
- Vázquez, ME; AE Pellegrini & G Diosma, 2001. Efecto de la vegetación y tamaño de los agregados sobre formas orgánicas del suelo. *Agricultura Técnica* 61(1): 61-69.
- Vázquez, M; P Gelati & G Millán. 2006a. Sustentabilidad del riego complementario en suelos Udipsamanet típico y Hapludol éntico de la Prov. de Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10(3): 593-603.
- Vázquez, M; G Millán & P Gelati. 2006b. Efecto del riego complementario sobre la salinidad y sodicidad de diferentes suelos del NO y Centro-E de la Prov. de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Agronomía/UNLP* 106(1): 57-66.
- Vázquez, M; G Millán & P Gelati. 2008. Evaluación del efecto del riego complementario en un suelo Udipsament Típico mediante ensayo de simulación. *Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo* 26(2): 195-203.
- Walker, DJ & MP Bernal. 2008. The effect of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresour. Technol.* 99: 396-403.
- Wilson, M; C Quintero; N Boschetti; R Benavidez & W Mancuso. 2000. Evaluación de atributos del suelo para su utilización como indicadores de calidad y sostenibilidad en Entre Ríos. *Revista Facultad de Agronomía UBA.* 20(1): 23-30.