



A4-112 Sostenibilidad de agroecosistemas pampeanos regados complementariamente con aguas subterráneas.

Génova, L.

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP.
hidroagri@agro.unlp.edu.ar

Resumen

El riego complementario de maíz, soja y trigo en 200.000 ha pampeanas, altera la calidad del suelo. Para ampliar la información sobre el impacto del riego, se generaron indicadores de calidad de suelos y aguas con la siguiente hipótesis: el sistema de manejo agronómico de cultivos extensivos bajo riego complementario es sustentable. En 133 muestras de agua subterránea se midieron pH, CE_a y RAS y en 180 lotes agrícolas se extrajeron muestras compuestas de suelos en pre y posttemporada de riego, midiendo MO, CIC, CE_{ex} y PSI, caracterizando la resistencia RT y resiliencia RL con los modelos de Herrik y Wander. Todos los sistemas resultaron resilientes, alternando incrementos de indicadores salinos en posttemporada con decrementos en pretemporada, sin alcanzar magnitudes identificatorias de degradaciones drásticas y/o irreversibles, consecuencia del lavado de sales por las lluvias y del intercambio catiónico. Se concluye que el sistema de manejo agronómico de cultivos extensivos regados complementariamente es sustentable.

Palabras-clave: resiliencia edáfica; calidad de agua; sistemas de manejo agronómico bajo riego.

Abstract: The complementary irrigation of corn, soybeans and wheat over 200,000 ha alters soil quality. For further information on the impact of irrigation, quality indicators of soil and water were generated, with the following hypotheses: agronomic management system of field crops under complementary irrigation is sustainable. In 133 groundwater samples pH, EC_w and SAR were measured. Over 180 agricultural lots, soil samples pre and postseason irrigation were extracted, measuring OM, CEC, EC_{ex} and ECP, characterizing the resistance RT and resilience RL with models of Herrik and Wander. All the systems irrigated were resilient, alternating increments of the saline indicators values at postseason and decrements at preseason, without reaching magnitudes identifying drastic degradation and/or irreversible, consequence of salt leaching by rain and cation exchange. It is concluded that the system of agronomic management of field crops under complementary irrigation is sustainable.

Keywords: resilience soil; water quality; agronomic management systems under irrigation

Introducción

El riego complementario de cultivos extensivos en la región pampeana disturba al suelo. Desde una perspectiva individual, el productor agropecuario optimizó su actividad económica incorporando el riego, que actualmente ocupa 200.000 ha (PROSAP, 2006), pero desde una perspectiva social, es necesario asegurar la sustentabilidad de los agroecosistemas. Masera et al. (1998) propusieron la utilización de criterios de diagnóstico para medir la sustentabilidad de sistemas de manejo agrícolas. Un criterio de diagnóstico integral es la calidad del suelo, con el enfoque de Parr et al. (1992). Warkentin (1996) resumió las relaciones entre sustentabilidad y resiliencia (RL), afirmando que la calidad del suelo es la llave de la sustentabilidad y Doran et al. (1996) aportaron que la dirección de la calidad del suelo con el tiempo es un indicador primario del manejo sustentable. Lal (1997) aconsejó realizar experimentación de campo para coleccionar datos que permitan vincular

calidad, degradación y RL del suelo e identificar indicadores. Seybold et al. (1999) clarificaron el concepto de RL y definieron su relación con la calidad de suelo, adoptando la definición de Herrick y Wander (1998): "resiliencia del suelo es la capacidad de un suelo de recuperar su integridad funcional y estructural después de un disturbio". Williams y Chartres (1999) diferenciaron resistencia (RT) de RL al expresar: "la magnitud de la disminución de la capacidad de un suelo de funcionar RT y la tasa de recuperación RL son dos llaves para medir la sustentabilidad". Cork et al. (2012) sintetizaron los avances de los estudios ecológicos que incluyen los procesos de transformación de insumos en productos que realizan los ecosistemas y los servicios que generan, indicando que son resilientes cuando pueden adaptarse o reorganizarse sin renunciar a la prestación de dichos servicios. Para evaluar la RL edáfica, enfatizaron la importancia de considerar las degradaciones identificando los umbrales de cambio y manifestaron que pueden existir ecosistemas en múltiples estados de estabilidad, por lo que la RL es la propiedad que lo mantiene dentro de los límites de un determinado estado. Aplicando la escala de Lal (1997) concluyeron que el método utilizado es una excelente herramienta para evaluar la sustentabilidad.

Génova (1993) formuló un modelo conceptual sobre la existencia de mecanismos naturales de control de la salinización y sodificación edáfica en la Pampa Húmeda. Posteriormente, realizó una exhaustiva revisión bibliográfica sobre el impacto del riego pampeano (Génova, 2003), citando resultados contradictorios: mientras un grupo de autores manifestaban la inconveniencia de usar aguas subterráneas, otros interpretaban que los disturbios generados por el riego no alcanzaron magnitudes que comprometan la sustentabilidad de los agroecosistemas. Investigando durante 20 años el impacto de distintas calidades de aguas en los suelos pampeanos regados, concluyó que el manejo agronómico bajo riego complementario es sustentable debido a que la RL edáfica no es superada por el riego a causa de procesos recuperativos que mantienen la calidad del suelo (Génova, 2003, 2006, 2007, 2010, 2011, 2013).

El objetivo de este trabajo fue ampliar la información existente sobre el impacto del riego complementario, comparando la calidad de los suelos de secano con los regados durante el período 2005-2013 mediante indicadores y caracterizando la RT y RL edáficas a cambios en la salinidad y la sodicidad, con la siguiente hipótesis: el sistema de manejo agronómico de cultivos extensivos bajo riego complementario es sustentable.

Metodología

Durante el período 2005-2013 se tomaron 133 muestras de agua subterránea desde pozos ubicados en 180 lotes agrícolas de 18 establecimientos localizados en la Zona Núcleo Maicera ZNM bonaerense, obteniéndose los siguientes indicadores: potencial hidrógeno pH_a , conductividad eléctrica CE_a , cationes sodio Na, calcio Ca y magnesio Mg y relación de adsorción de sodio RAS. De cada lote se extrajeron muestras compuestas de suelos a 2 profundidades (0-20 y 20-40 cm), con 4 repeticiones, antes de comenzar y al finalizar cada temporada de riego, determinándose materia orgánica MO, Na, Ca, Mg y potasio K intercambiables, capacidad de intercambio catiónico CIC, pH, conductividad eléctrica del extracto de saturación CE_{ex} y % de sodio de intercambio PSI. Las aguas fueron clasificadas por los métodos del US Salinity Lab. (Richards, 1954) y del Proyecto IPG INTA (1998). Con los datos de CE_{ex} y PSI correspondientes a los suelos de secano y regados, se aplicaron los modelos de Herrick y Wander (1998) para evaluar la RL a cambios de CE_{ex} ($RLCE_{ex}$) y de PSI ($RLPSI$), para ambas variables $RL=(B-C)(A-C)^{-1}$ (ec.1) y la RT a cambios de CE_{ex} ($RTCE_{ex}$) y de PSI ($RTPSI$), para los dos casos $RT=C.A^{-1}$ (ec.2), donde A=capacidad de funcionamiento del suelo antes de sufrir el disturbio, B=nivel de recuperación a un nivel de equilibrio estabilizado de funcionamiento edáfico (datos de pretemporada de riego) y C=nivel de la

función del suelo inmediatamente después de ocurrido el disturbio (datos de postemporada). Los indicadores de calidad edáfica se agruparon en función de las series de suelos encontradas, definidas en la Carta de Suelos de la República Argentina (1998), comparándose la variación de los mismos a consecuencia del riego. Las RL y RT fueron correlacionadas entre sí y con los indicadores de calidad de aguas y suelos.

Resultados y discusiones

Las aguas de riego resultaron ser todas de naturaleza bicarbonatada sódica, clasificando como C3S2 según el US Salinity Lab. y con ligeras a moderadas restricciones de uso según el IPG-INTA. La tabla 1 muestra los valores medios de los indicadores. Se asume que la clasificación del US Salinity Lab. tiene únicamente valor identificatorio, dada su amplia difusión, pero no es adecuada para pronosticar los efectos del agua en los suelos regados en zonas húmedas (Génova, 2011, 2013). La correlación entre la CE_a y la RAS resultó alta ($r^2 = 0,88$), acompañándose las mayores RAS con las más altas CE_a , lo cual mantiene la aptitud del agua para riego, balanceando la peligrosidad de salinización con la de sodificación de los suelos, como explicaron Ayers y Westcot (1989), en función de los efectos contrarios que generan las sales y el Na en la floculación coloidal.

TABLA 1. Indicadores de calidad del agua de riego de las series de suelos y su clasificación.

Series de suelo	CE_a $dS.m^{-1}$	RAS	US Sal Lab.	IPG Sales	INTA Sodio
Chacabuco	1,08	10,35	C3S2	L a M	L a M
Rojas	1,33	13,68	C3S3	L a M	L a M
Ramallo	0,99	7,73	C3S2	L a M	L a M
Urquiza	1,12	8,42	C3S2	L a M	L a M

Referencia: L a M ligera a moderada restricción de uso

Los suelos correspondieron a las series Chacabuco y Gouin (Argiudoles ácuicos), Rojas y Urquiza (Argiudoles típicos) y Ramallo (Argiudol vértico). En la tabla 2 se muestran los indicadores de calidad de suelos y las variaciones porcentuales ocurridas durante los años de riego. La reducción de los indicadores no salinos oscilaron entre 10 y 24% para la CIC, 1 y 10% para el % Ca y 6 y 27% para el %MO. Todos los suelos incrementaron los valores de los indicadores salinos a causa del riego, resultando porcentualmente bajos los aumentos de pH y muy altos los incrementos de la CE_{ex} y del PSI. Estas variaciones de magnitudes de los indicadores se estima que en el caso de CIC, Ca y MO son una consecuencia de la agricultura continua y en el caso del pH, la CE_{ex} y PSI, sus aumentos son debidos al riego.

En la tabla 3 se muestran los promedios de los indicadores salinos de los suelos de secano y regados y de RT y RL. Siempre la CE_{ex} y el PSI de los suelos regados superaron los de secano y los registros de postemporada de riego fueron mayores que los de pretemporada. Este patrón de variación anual de dichos indicadores, coincide con lo reportado por Génova (2003, 2006, 2010). Todas las series de suelos resultaron resilientes, lo cual explica la expansión del riego complementario, que además de minimizar la disminución de cosechas por déficit hídrico, estabilizó los altos rendimientos de los cultivos. Esta relación entre la RL y

la productividad agronómica coincide con lo reportado por Lal (1997). Se halló una alta correlación ($r^2=0,89$) entre RTPSI y RLPSI, no así entre RTCE_{ex} y RLCE_{ex}.

TABLA 2. Indicadores de calidad edáfica antes y después de ser regados y % de cambio

Serie de suelo	Inicial (suelos de secano)						Suelos regados					
	CIC cmolc.kg ⁻¹	% Ca	% MO	pH	CE _{ex} dS.m ⁻¹	PSI %	CIC cmolc.kg ⁻¹	% Ca	% MO	pH	CE _{ex} dS.m ⁻¹	PSI %
Chacabuco	22,9	67,9	3,1	5,6	0,2	1,0	17,5	64,2	2,8	6,3	0,8	5,3
Gouin	22,7	70,8	3,2	5,6	0,2	1,3	17,6	68,2	3,0	6,3	0,4	5,7
Rojas	18,1	69,4	3,1	6,1	0,2	1,1	18,7	69,5	2,4	6,7	0,8	5,8
Ramallo	24,4	74,1	3,4	5,5	0,2	1,6	19,9	73,0	2,5	6,3	0,3	3,0
Urquiza	22,4	66,4	2,3	5,6	0,2	1,4	20,1	73,4	2,5	5,9	0,4	3,6
Porcentajes de cambio con el riego												
Chacabuco	-24	-5	-10	14	290	411						
Gouin	-22	-4	-6	13	106	330						
Rojas	3	0	-22	9	433	434						
Ramallo	-19	-1	-27	14	88	80						
Urquiza	-10	11	8	5	117	159						

TABLA 3. Valores medios obtenidos en secano (PSI A y CE_{ex} A), en pretemporada de riego (PSI B y CE_{ex} B) y en posttemporada (PSI C y CE_{ex} C). Valores medios de RT y RL.

Variable	Series de suelos						Media
	Chacabuc	Gouin	Rojas	Ramallo	Urquiza		
PSI A	1,03	1,32	1,08	1,64	1,40		1,29
PSI B	2,89	3,10	2,99	2,03	2,01		2,60
PSI C	5,26	5,67	5,77	2,96	3,63		4,65
RL PSI	0,55	0,57	0,55	0,70	0,73		0,62
RT PSI	5,10	4,29	5,34	1,80	2,59		3,83
CE _{ex} A	0,20	0,18	0,15	0,17	0,18		0,18
CE _{ex} B	0,35	0,25	0,31	0,19	0,23		0,27
CE _{ex} C	0,78	0,37	0,80	0,32	0,39		0,53
RL CE _{ex}	0,72	0,66	0,70	0,99	0,76		0,77
RT CE _{ex}	3,82	2,04	5,30	1,91	2,14		3,04

La RT y RL se correlacionaron débilmente con los % de variación de los indicadores no salinos, en cambio fue alta la correlación con las variaciones de los indicadores salinos. Las mayores RTPSI se correspondieron con los más altos incrementos de PSI ($r^2=1$) y las mayores RLPSI ocurrieron con los menores incrementos de PSI ($r^2=0,89$). La RTCE_{ex} aumentó con los mayores % de incremento de la CE_{ex} ($r^2=0,99$), pero la RLCE_{ex} tuvo escasa relación con la variación de la CE_{ex} ($r^2=0,17$). Evidentemente, el riego produjo incrementos de sales y Na en los suelos, en magnitudes condicionadas por la calidad de las aguas usadas, con mayor sensibilidad al aporte de sodio que de sales.

El análisis de las relaciones de RT y RL con los indicadores de calidad de aguas, determinó que están altamente correlacionadas: la RLPSI disminuyó con el aumento de la RAS ($r^2=0,80$) y la RTPSI aumentó con valores crecientes de la RAS ($r^2=0,87$), ambas a expensas del indudable impacto ocasionado por el suministro de mayor cantidad relativa de sodio con el agua de riego. También se evidenció una elevada correlación de la RTCE_{ex} que se incrementó con los aumentos de la CE_a ($r^2=0,84$), explicada por el impacto de las aguas más salinas al finalizar la temporada de riego, mientras que la correlación entre la RLCE_{ex} y la CE_a es baja ($r^2=0,43$), aunque muestra una tendencia creciente con la disminución de las concentraciones de sales incorporadas con el riego.

Conclusiones

Las aguas de riego resultaron todas bicarbonatadas-sódicas, con rangos de CE_a entre 0,99 y 1,33 dS.m⁻¹ y RAS 7,7 a 13,7. La alta correlación entre la CE_a y la RAS ($r^2=0,88$), explica el equilibrio entre los efectos de las sales y el sodio en la floculación de los coloides del suelo, que mantiene aceptables las aptitudes agrícolas de las aguas.

Se encontró una tendencia incremental de los indicadores salinos causados por el riego, porcentualmente bajos en el pH y muy altos en CE_{ex} y PSI, sin que sus magnitudes evidencien degradaciones drásticas y menos irreversibles, alternando máximos en posttemporada y mínimos en pretemporada de riego. Todos los suelos fueron resilientes, con alta correlación entre RT y RL a cambios del PSI ($r^2=0,89$) y muy baja correlación entre RT y RL a cambios en la salinidad ($r^2=0,17$). Los suelos que recibieron aguas más sódicas y salinas, alcanzaron los más altos valores de RTPSI y RTCE_{ex}, respondiendo al impacto de sales y Na una vez transcurrida la temporada de riego. Los suelos más resilientes a cambios del PSI fueron los que recibieron las aguas con mayor RAS, manifestando su capacidad recuperativa.

La evaluación de la calidad de los suelos regados, utilizando como indicadores la RT y la RL permite concluir que se mantiene la capacidad de funcionamiento del suelo a expensas de los mecanismos de recuperación de los disturbios producidos, por lo que el sistema de manejo agronómico de cultivos extensivos bajo riego complementario es sustentable.

Referencias bibliográficas

- Ayers R & D Westcot (1989) La calidad del agua en la agricultura. FAO RyD N° 29 rev.1. Roma.
- Carta de suelos de la R. Argentina (1998) Esc. 1:50.000. Varias hojas. CIRN INTA. Castelar.
- Cork S, L Eadie, P Mele, R Price & D Yule (2012) The relationships between land management practices and soil condition. Kiri-ganai Research Pty Ltd. Camberra, Australia. 127 pp. Cap 8.
- Doran J, M Sarrantonio & M Liebig (1996) Soil health and sustainability.56:1:54, Ac. Press, San Diego
- Génova L (1993) Estudio de la degradación de suelos bajo riego complementario de cultivos extensivos con aguas del acuífero Pampeano en el norte de Buenos Aires. XIV Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo. 347:352 pp. Mendoza.
- Génova L (2003) Resistencia y resiliencia de suelos pampeanos a la degradación salina y sódica, disturbados por riego complementario. Revista Fac. de Agronomía. 23 (2-3)119:130. Buenos Aires.
- Génova L (2006) Sustentabilidad de agroecosistemas bajo riego complementario en la Pampa Húmeda Argentina. Revista Brasileira de Agroecología. Nov 2006. 1:1:71-74.
- Génova L (2007) Resiliencia a la degradación salina y sódica de algunos suelos pampeanos regados complementariamente con aguas subterráneas bicarbonatadas sódicas. FCAYF-UNLP La Plata. 245p
- Génova L (2010) Sustentabilidad de agroecosistemas pampeanos regados complementariamente. Tomo II. 605-612 pp. Varni M, I. Entraigas & L Vives (Eds) Azul, Argentina. ISBN 978-987-543-392-2.



- Génova L (2011) Calidad del agua subterránea para riego complementario en la Pampa Húmeda argentina. Revista de la Facultad de Agronomía Vol 110 (2): 63-81. La Plata.
- Génova L (2013) Comparación de tres clasificaciones de calidad de aguas para riego complementario en el Norte de la Pcia. de Buenos Aires. Tomo II. pp 131-138. Ed. UNLP. La Plata.
- Herrick J & M. Wander (1998) Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils. Adv. in Soil Sci. CRC Press, B. Raton, Florida, pp 405-426.
- Masera O, M Astier & S Lopez-Ridaura (1999) Sustentabilidad y evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. Mundi-Prensa-GIRA-UNAM. México
- Lal R (1997) Degradation and resilience of soils. Phil. Trans. Royal Society. B 352, 997:1010. London.
- Parr J, L Papendick, S Hornick & R Meyer (1992) Soil quality: Amer. J. Alternative Agric. 7:5-11.
- PROSAP (Programa de Servicios Agrarios Provinciales) (2006) Servir al agro. Ed. SAGPyA. Bs Aires.
- Proyecto IPG-INTA (1998) Síntesis de discusión del taller sobre calidad de aguas para riego.
- Richards L(Ed) (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook N°60.
- Seybold C, J Herrick & J Brejda (1999) Soil resilience: a fundamental component of soil quality. Soil Sci.164:4:224-234.
- Warkentin B (1996) The changing concept of soil quality. J. Soil Water Conserv. 50:226-228
- Williams J & C Chartres (1999) Sustaining productive pastures in the tropics. Trap. Gras. 25:73-84.