

Comparación de tres clasificaciones de calidad de aguas para riego complementario en el Norte de la provincia de Buenos Aires

Leopoldo Génova

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP), Av. 60 y 119, (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Mail de contacto: hidroagri@agro.unlp.edu.ar

RESUMEN

Aunque son regadas complementariamente 166.000 ha bonaerenses, aún se debate sobre el impacto negativo en los suelos y la adaptabilidad de las clasificaciones de aptitud del agua para riego. Comparando las capacidades de pronóstico de salinización y alcalinización de los suelos regados de los métodos del US Salinity Lab, de la FAO y del IPG-INTA con los indicadores salino-sódicos generados durante 8 años a partir de 133 análisis de aguas y suelos regados, que no registraron valores superiores al 12% de sodio intercambiable, se concluye que para riego complementario, no es aplicable el método del US Salinity Lab., pues ignora la resiliencia edáfica explicada por los siguientes mecanismos de recuperación: lavado producido por las lluvias e intercambio catiónico, considerando más específico el método del IPG-INTA, que toma en cuenta no solo las características hidroquímicas sino también las precipitaciones, las dosis de riego recibidas y las características físico-químicas de los suelos.

Palabras clave: aptitud agrícola del agua, resiliencia edáfica, riego.

ABSTRACT

Although 166,000 ha are complementary irrigated in the Buenos Aires State, still debate about the negative impact on soils and adaptability of the irrigation water quality classifications. Comparing the predictive capabilities of the irrigated soils salinization and alkalization from the U.S. Salinity Lab., FAO and IPG-INTA methods with saline-alkaline indicators generated for 8 years from 133 analyzes of water and soil irrigated, that not registered more than 12% exchangeable sodium, it is concluded that for complementary irrigation, is not applicable the U.S. Salinity Lab. method, because it ignores soil resilience, explained by the following recovery mechanisms: leaching produced by rain and cation exchange capacity, considering more specific the IPG-INTA method, which takes into account not only the hydrochemical characteristics but also rainfall, irrigation depths received and the physicochemical characteristics of the soils.

Keywords: irrigation water quality, soil resilience.

Introducción

En la región pampeana bonaerense, actualmente se utilizan en su mayoría aguas subterráneas para regar complementariamente alrededor de 166.000 ha (PROSAP, 2006) de maíz, soja y trigo, con el objetivo de minimizar el riesgo hídrico para estabilizar la obtención de cosechas cercanas a los rendimientos potenciales. El riego complementario consiste en aplicar, durante las etapas fenológicas de mayor sensibilidad de los cultivos al déficit hídrico, láminas de riego que complementan las lluvias, del orden de 200 a 300 mm para el maíz, 100 a 150 mm para la soja y 50 a 100 mm para el trigo. Los resultados económicos obtenidos por la agricultura regada, mejorada por los avances del fitomejoramiento y del manejo agronómico de los cultivos, propiciaron

el sostenido crecimiento del área bajo riego, alcanzando incrementos medios de rendimientos del orden de 4 ton.ha⁻¹ en el maíz, 1,5 ton.ha⁻¹ en la soja de primera siembra y 1,0 ton.ha⁻¹ en la rotación trigo-soja de segunda siembra (Proy. IPG-INTA, 1998). Sin embargo, la difusión del riego complementario todavía es cuestionada, debido al escaso conocimiento por parte del sector agropecuario de los alcances y ventajas del riego de cultivos extensivos y a la inconsistencia del método de clasificación de la aptitud agrícola del agua del US Salinity Lab. para regiones húmedas, con su erróneo pronóstico sobre la sodificación de los suelos regados complementariamente, principalmente con aguas bicarbonatadas sódicas, que constituyen la fuente más importante de agua para riego.

Con la hipótesis que las aguas subterráneas de los acuíferos pampeanos explotados son, en su gran mayoría, aptas para ser utilizadas en riego complementario, en este trabajo se propusieron los siguientes objetivos: a) clasificar la aptitud agrícola de las aguas mediante tres metodologías: US Salinity Lab., FAO y Proy. IPG-INTA; b) discutir la aplicabilidad de los tres métodos, considerando los resultados del monitoreo, durante 8 años, del impacto del agua subterránea en suelos pampeanos, regados complementariamente.

Antecedentes

a. Riego complementario en la región pampeana utilizando aguas subterráneas.

La principal característica del riego complementario es que las aplicaciones de agua se realizan cuando la humedad del suelo se aleja del rango óptimo, resultado de la dinámica hídrica generada por la recarga por lluvias y la descarga por evapotranspiración, durante las etapas fenológicas en que los cultivos presentan elevada sensibilidad al déficit hídrico, permitiendo alcanzar respuestas productivas máximas, aunque la cantidad total de agua regada no supera generalmente los 300 mm por campaña agrícola. El riego complementario difiere del riego integral, propio de las zonas áridas, tanto en el número de riegos como en el volumen total de agua aplicada, del orden de 600 mm para cultivos anuales y 1.200 mm para los cultivos perennes (Génova, 2010).

El agua subterránea es la principal fuente de agua para riego, que presenta distintos grados de mineralización, con preponderancia de aguas bicarbonatadas sódicas (González y Hernández, 1997). Los principales acuíferos sometidos a explotación para riego son contenidos en las unidades geológicas postpampeano, pampeano y arenas puelches. Según González (2004), la unidad postpampeano está representada por formaciones jóvenes que dan lugar a acuíferos libres, consecuentemente ubicados a continuación del estrato edafizado, cercanos a la superficie y poco potentes, de escaso espesor, productores de bajos caudales. El Acuífero Pampeano, de espesores entre 0 y 120 m, litológicamente está constituido por limos loessoides, limos arenosos, limos arcillosos y calcáreos, de origen eolo-fluviales. En su fracción superior se comporta como acuífero libre, con baja productividad y a mayor profundidad pasa a ser semilibre, alcanzando una moderada productividad, con caudales entre 60 y 120 m³h⁻¹, con salinidades de 0,5 a 2

g.l-1 de concentración. El Acuífero Puelche está formado por arenas sueltas medianas y finas, de color amarillento a blanquecino, de origen fluvial, presenta espesores entre 10 y 50 m, con comportamiento semiconfinado, de mediana a alta productividad, permitiendo caudales entre 30 y 150 m³h⁻¹, con concentraciones salinas inferiores a 2 g.l⁻¹ en gran parte del territorio.

b. Salinidad y sodicidad de los suelos regados con aguas bicarbonatadas-sódicas

Génova (2007), Costa (1999), Vázquez et al (2004) destacaron la carencia de una metodología adecuada para la interpretación y clasificación de la aptitud agrícola del agua para ser usada en irrigación en la región húmeda pampeana, que permita efectuar pronósticos confiables sobre la degradación salina en los sistemas agroproductivos regados.

Génova (2003, 2007, 2010) informó que la resiliencia de suelos Argiúdoles y Haplúdoles pampeanos a la degradación salina y sódica, no es superada por el riego complementario con aguas bicarbonatadas sódicas, debido a procesos recuperativos, que mantienen la calidad de los suelos, por lo que el sistema de manejo agronómico bajo esta modalidad de riego, constituye un sistema de manejo sustentable. Arribó a esta conclusión mediante un estudio de 20 años de monitoreo donde los valores del potencial hidrógeno pH, conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo CE_{ex} y porcentaje de sodio intercambiable PSI de los suelos regados no manifestaron un crecimiento sostenido en el tiempo, sino la ocurrencia de fases de acumulación, por el aporte de sales durante la temporada de riego y de fases de disminución, en cualquier momento del ciclo, en función de los balances hídrico y salino generados por dos principales mecanismos de recuperación: lavado e intercambio catiónico, validando el modelo conceptual sobre el control natural de la salinidad y sodicidad de los suelos pampeanos regados complementariamente, formulado por Génova (1993).

Génova (2012), considera inapropiado el método del US Salinity Lab. para estimar el grado de sodificación de los suelos regados complementariamente, a partir de la relación de adsorción de sodio RAS del agua. Los PSI de los suelos regados, tanto medidos como simulados, nunca superaron el 11,6%, aunque reconoce la validez del método en la zona húmeda, con fines identificatorios, dada su sencillez y uso generalizado.

Materiales y métodos

Durante el período 2005-2013 se tomaron 133 muestras de agua subterránea desde pozos ubicados en lotes agrícolas de 18 establecimientos pertenecientes a los Partidos de Carmen de Areco, Chacabuco, Chivilcoy, Pergamino, Salto y Rojas, obteniéndose los siguientes indicadores: pH, conductividad eléctrica CEa y RAS. De cada lote agrícola se extrajeron muestras compuestas de los suelos regados, a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm), obteniéndose pH, CEex y PSI. Con los valores de CEa y RAS se clasificaron las aguas correspondientes a cada Partido, aplicando los métodos del Diagrama de Clasificación de la Aptitud Agrícola de las Aguas de Riego del US Salinity Lab. (Richards ed., 1954), de la FAO (Ayers y Westcot, 1989) y del IPG-INTA (1998) y se compararon los indicadores salinos y sódicos de los suelos con los de las aguas con que fueron regados.

El US Salinity Lab. estima la aptitud del agua para riego mediante 4 clases de peligrosidad salina y sódica en función de la CEa y la RAS. La FAO propone directrices (Tabla 1), en términos graduales de restricción al uso. El método Proy. IPG-INTA es preliminar, pero valioso porque incorpora a los conceptos clásicos de las relaciones salinas de aguas y suelos regados, las propiedades del suelo, las características climáticas zonales y la lámina de riego aplicada. La Tabla 2 resume las principales características del método.

Tabla N° 1. Método FAO.

Causa y efecto	Grado de restricción de uso		
	Ninguno (N)	Ligero a moderado (L a M)	Severo (S)
Salinidad (disminuye la disponibilidad de agua para los cultivos)	CEa < 0,7	CEa 0,7 - 3	CEa > 3
Sodicidad (disminuye la permeabilidad del suelo)	RAS 0 - 3 RAS 3 - 6 RAS 6 - 12 RAS 12 - 20 RAS 20 - 40	CEa > 0,7 CEa > 1,2 CEa > 1,9 CEa > 2,9 CEa > 5,0	CEa 0,7 - 0,2 CEa 1,2 - 0,3 CEa 1,9 - 0,5 CEa 2,9 - 1,3 CEa 5,0 - 2,9

Tabla N° 2. Método Proy. IPG-INTA.

Causa	Índice	Características agroclimáticas	Uso en cultivos extensivos		
			Seguro	Dudoso	No recomendado
Salinidad	CE a (dS/m)	Zona húmeda donde excesos pluviales de otoño permiten el lavado de sales del suelo y el nivel freático profundiza más de 3 m	(S) < 2	(D) 2 a 4	(NR) > 4
Sodicidad	RAS	Suelos del sudeste de Bs. Aires, Arguidoles del norte de Bs. Aires, sudeste de Santa Fe y Entre Ríos Arguidoles del nordeste de Santa Fe Haplustoles del centro-sur de Córdoba	Aceptable (A) < 15	Dudoso (D) 15 - 20	Alto riesgo (AR) > 20

Resultados

En la Tabla 3 se presentan los valores de los indicadores salinos y sódicos de las aguas estudiadas, con rangos para la CEa de 0,7 a 2,49 dSm⁻¹ y de 5,33 a 26,6 para la RAS y los resultados de la clasificación de su aptitud para riego con los métodos usados, cuyos valores medios constan en la Figura 1.

En la Tabla 4 se presenta la frecuencia de clases clasificatorias correspondientes a los métodos usados. Para el US Salinity Lab. las clases más frecuentes son C3S2 y C3S3, totalizando entre ambas el 81%. Respecto de la salinidad, para la FAO el 98,5% de las aguas presentan ligeras a moderadas restricciones de uso (LaM) y ninguna alcanzó severas restricciones (SV), mientras que respecto de la sodicidad, el 82,7% presenta (LaM) y el 16,5% (SV). Para el IPG-INTA, el 95,5% de las aguas son de uso seguro (S) referido a la salinidad y el 6% clasifica como uso dudoso (D), sin encontrarse aguas de uso no recomendado (NR), en cambio respecto a la sodicidad, el 20,3 % de las aguas es de uso aceptable (A), el 45,1 % es de uso dudoso (D) y el 34,6 % tiene alto riesgo de uso (AR).

En las Figuras 2 y 3 se comparan las clases obtenidas por los métodos de la FAO y del IPG-INTA, mostrando diferencias entre sí, más importantes referidas a la salinidad que a la sodicidad. Respecto de la salinidad, para el IPG-INTA la mayoría de las aguas no presenta restricciones de uso, en cambio para la FAO la mayoría presenta restricciones de uso (LaM), aunque para ambas clasificaciones no se encontraron aguas con (SV) y su equivalente (NR). Con el riesgo de sodificación de los suelos existe mayor similitud en las dos clasificaciones, aunque el IPG-INTA clasifica menor porcentaje de aguas dudosas y mayor porcentaje de aguas con alto riesgo que la FAO.

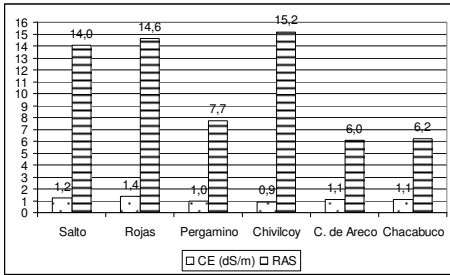


Figura N°1. Salinidad y sodicidad del agua.

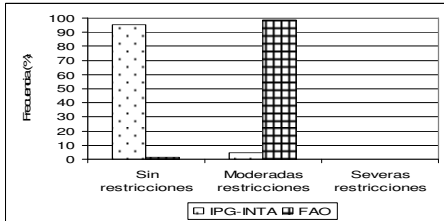


Figura N° 2. Frecuencia de clases obtenidas con las clasificaciones FAO e INTA-IPG respecto de la salinidad.

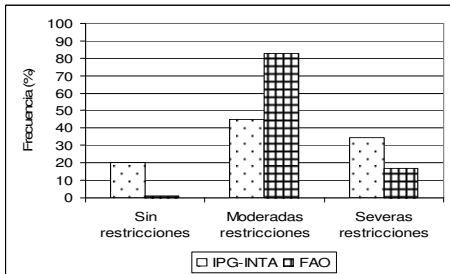


Figura N° 3. Frecuencia de clases obtenidas con las clasificaciones FAO e INTA-IPG respecto de la sodicidad.

Las clasificaciones de calidad de agua enfatizan las relaciones causa-efecto de las sales y el sodio en los cultivos y los suelos, en términos de peligrosidad, precisando que el aumento de la concentración salina de la solución del suelo regado limita la disponibilidad de agua para las plantas debido al incremento del potencial osmótico y consecuentemente del potencial total de agua y que el aumento relativo de la concentración de sodio, evaluado por la RAS, disminuye la permeabilidad del suelo por la alteración de la estabilidad coloidal, degradando su calidad. En las regiones húmedas, la peligrosidad salina está generalmente controlada por el exceso de

precipitaciones, que lixivian las sales incorporadas con el riego (Génova, 1993, 2007), (Costa, 1999) y además los cultivos manifiestan distintas tolerancias a la salinidad, lo cual amplía el uso de aguas salinas. Esta circunstancia está contemplada por las clasificaciones más modernas, por ello tanto FAO como IPG-INTA, castigan menos la peligrosidad salina que el US Salinity Lab.

En cambio, la evaluación de la peligrosidad sódica presenta mayores discrepancias entre los métodos clasificatorios comparados en este trabajo, por lo que se han relacionado los pronósticos de sodificación a partir de la RAS del agua con los PSI de los suelos regados.

El pronóstico de sodificación del suelo debido al riego con aguas de elevada RAS, aplicando el método del US Salinity Lab., planteó grandes dudas en la región húmeda pampeana sobre el impacto del riego complementario y sus consecuencias en la sustentabilidad de los agroecosistemas, pues equivocadamente se utilizó la ecuación de regresión $PSI = 1,1355 RAS + 0,0265$, con $r^2=1$ (ec. 5), reformulada de la original de Richards ed. (1954), desestimando que fue construida con datos surgidos del riego integral de cultivos instalados en condiciones de aridez, donde principalmente existen tres diferencias de enorme peso en los balances hídricos y salinos del suelo: el alto volumen de agua aportado durante el ciclo de cultivo, la escasa precipitación y la baja capacidad de intercambio catiónico de los suelos aluviales. La ec. 5 pronostica que las aguas de riego que superen una $RAS=13,2$ generan suelos sódicos ($PSI=15$). De las 133 aguas muestreadas, el 53% presenta valores de RAS entre 13,4 y 26,6 y por lo tanto no aptas para riego, mientras que el 47% entre 5,33 y 13,0, se considerarían aptas para riego. Otro criterio mucho más severo de esta clasificación es el basado en el indicador carbonato de sodio residual $CSR = [CO_3] + [HCO_3] - [Ca] - [Mg]$ (ec. 6) todo expresado en miliequivalentes por litro ($meq\ l^{-1}$). Valores mayores de $2,5 meq\ l^{-1}$ determinan la ineptitud de las aguas para riego y todas las aguas muestreadas presentan $CSR > 4 meq\ l^{-1}$.

Tabla N° 4. Número y frecuencia de las clases de uso del agua.

Método	Clases					
	C2S3	C3S1	C3S2	C3S3	C3S4	C4S4
US Salinity Lab	2	11	56	52	11	1
Número	1,5	8,3	42,1	39,1	8,3	0,8
Frecuencia (%)						
FAO Salinidad	N	L a M	SV			
Número	2	131	0			
Frecuencia (%)	1,5	98,5	0,0			
FAC Sodicidad	N	L a M	SV			
Número	1	110	22			
Frecuencia (%)	0,8	82,7	16,5			
IPG-INTA Salinidad	S	D	NR			
Número	127	6	0			
Frecuencia (%)	95,5	4,5	0,0			
IPG-INTA Sodicidad	A	D	AR			
Número	27	60	46			
Frecuencia (%)	20,3	45,1	34,6			

Los resultados de los análisis de suelos regados y de las aguas de riego por Partido se presentan en las Tablas 5 a 10 y las Figuras 4 y 5 muestran los valores medios de salinidad y sodicidad de suelos y aguas tanto para cada Partido como para el total de datos. El promedio general de los indicadores de salinidad y sodicidad de los suelos es $pH_s=6,43$, con un rango entre 6,19 y 6,77; $CE_{Ex}=0,73$ dSm^{-1} , con rango entre 0,29 y 1,3 dSm^{-1} y $PSI=4,59\%$, con valores entre 2,52 y 6,12%. Para las aguas, los promedios generales son $pH_a=7,74$, con rango entre 7,45 y 8,04; $CE_a=1,11$ dSm^{-1} con valores entre 0,9 y 1,33 dSm^{-1} y $RAS=10,5$, con un rango entre 6,06 y 15,03.

Tabla N° 5. Indicadores salinos y sódicos de aguas y suelos regados. Partido de Salto.

Estancia	Pozo	Lote	SUELOS			AGUAS	
			pH_s	CE_{Ex}	PSI	CE_a	RAS
Puesto del Marqués	1	1	6,36	1,10	4,0	1,20	18,8
	2	2	5,80	0,70	3,7	1,09	13,9
El Gamonal	5	5	6,20	1,20	4,3	1,16	15,4
	5B	5B	6,56	0,89	8,5	1,16	15,4
	6	6	6,44	1,22	8,4	1,17	11,64
	13	13	5,98	1,30	7,4	1,13	11,0
ISACAR	16	16	6,25	1,38	7,7	1,38	14,6
	18	18	5,87	0,98	5,1	1,30	12,0
	3B	3B	6,36	1,10	4,0	1,40	17,7
Don Fidel	6	6	5,80	0,70	3,7	1,30	15,2
	7	7	5,44	0,70	3,5	1,07	14,7
Don Jorge	15	15	5,82	0,95	5,0	1,60	16,3
	Albatroz 1	Albatroz 1	6,72	1,07	5,3	1,35	17,2
Cigüeña	6,63	6,63	0,72	5,2	1,20	12,6	
	6,40	6,40	0,80	5,2	0,85	8,2	
	Chajji	Chajji	6,46	0,75	4,7	1,08	11,2

Tabla N° 6. Indicadores salinos y sódicos de aguas y suelos regados. Partido de Rojas.

Estancia	Partido	Pozo	Lote	SUELOS			AGUAS		
				pH_s	CE_{Ex}	PSI	CE_a	RAS	
El Retorno	Rojas	4	4B	7,40	1,70	10,71	2,20	16,8	
	Rojas	A1		6,76	1,10	8,52	1,85	20,0	
	Rojas	10		7,08	1,10	10,21	1,90	16,3	
	Rojas	8A1		6,47	0,69	7,29	1,55	19,2	
	Rojas	4	4A	6,63	0,60	7,12	0,99	13,4	
	Rojas	8		6,62	1,50	8,88	1,57	16,2	
	Rojas	12		6,32	1,10	7,61	1,05	13,0	
	Rojas	13		6,77	1,20	8,04	1,40	14,6	
	Rojas	14		6,81	1,00	8,34	2,49	25,4	
	Rojas		5	6,00	1,12	5,83	1,15	12,6	
	Rojas		8 C	7,10	1,08	7,20	1,76	17,7	
	Rojas		8 B	5,20	0,33	2,08	1,25	12,5	
	Rojas		12	6,40	1,13	5,00	1,05	13,0	
	Rojas		13	6,40	1,04	5,38	1,40	14,6	
Los Robles	Rojas	15	6,60	1,10	8,05	1,44	14,1		
	Rojas	1	1	6,27	1,10	7,04	2,10	18,2	
Santa Elena	Rojas	11A	6,58	0,80	6,92	2,10	18,2		
	Rojas	1B	6,38	0,60	5,06	2,10	18,2		
	Rojas	2	2	6,58	1,20	6,13	1,50	20,6	
	Rojas	1	1A	6,80	1,64	9,08	1,73	17,2	
	Rojas	2-3	2-3	5,80	0,90	2,00	1,72	11,9	
	Rojas	2-3	2-3	6,65	1,36	8,29	1,68	14,2	
	Rojas	Parque	4-7	6,50	0,97	6,40	1,64	9,3	
	Rojas	8-11	8-11	6,21	1,61	7,13	1,38	11,1	
	Rojas	12A	12A	6,50	1,47	7,11	1,28	11,3	
	Rojas	12B	12B	6,39	1,49	7,15	1,19	9,7	
	Rojas	13	13B	6,72	1,37	7,58	1,92	9,9	
	Rojas	14	14	6,50	1,80	6,71	1,11	9,5	
	Rojas	15A	15B	6,28	0,85	5,33	1,22	10,5	
	Rojas	15A	15A	6,44	0,91	5,26	1,22	9,7	
Rojas	16	16	6,36	0,83	4,50	0,70	16,3		
Rojas	17	17	6,23	0,93	4,61	0,95	26,6		
Rojas	18	18	7,39	0,33	7,43	1,60	18,2		
Rojas	19-20	19-20	6,48	1,13	5,70	1,20	11,1		
Rojas	21	21 B	6,99	1,12	5,83	1,26	10,8		
Rojas	21A	21A	6,56	0,97	8,29	1,16	11,5		
Rojas	27	27	6,94	1,05	6,99	1,03	23,5		
Rojas	28	28	6,89	1,52	9,96	1,50	12,0		
Rojas	33	33A	7,12	1,07	13,26	2,10	24,3		
Rojas	33	33B	6,64	0,70	7,18	1,87	15,1		
Rojas	33A	33A	5,40	1,30	3,90	1,90	11,6		
Rojas	105	105	5,00	1,30	3,30	1,87	11,1		
Rojas	206	206	6,65	2,03	9,48	1,72	16,1		
Rojas	206	206	6,29	0,69	5,43	0,89	10,8		
Rojas	206	205	6,23	1,37	5,68	2,05	22,5		
Rojas	206	206	5,70	1,00	2,50	2,05	21,3		
Rojas	Parque	Parque	6,30	0,70	4,76	1,70	17,2		
Fran Luis	Rojas	1	1	6,05	0,27	4,23	0,95	11,3	
	Rojas	2	2	6,34	0,45	8,64	0,89	11,6	
	Rojas	3	3	6,39	0,33	7,02	0,81	10,2	
	Rojas	4	4-1	6,24	0,25	3,92	1,13	11,3	
	Rojas	4	4-2	6,69	0,44	7,91	1,13	11,3	
	Rojas	5	5	7,20	0,65	10,19	1,05	11,1	
	Rojas	6	6	6,59	0,29	4,54	1,08	11,3	
	Rojas	7	7	6,42	0,27	3,57	0,89	11,6	
	Rojas	8	8	6,43	0,28	2,71	0,81	10,2	
	Rojas	9	9	6,61	0,33	2,36	1,13	11,3	
	Rojas	10	10	6,37	0,27	2,66	1,05	11,1	
	San Luis	Rojas	1	1	6,93	0,82	7,15	0,87	11,7
		Rojas	2	2	7,12	0,34	6,75	0,80	10,7
		Rojas	3	3	7,02	0,38	1,48	1,03	11,0
Rojas		4	4	6,84	0,49	5,88	0,97	11,8	
Rojas		5	5	6,74	0,55	4,49	0,87	10,2	
Rojas		6	6	6,85	0,29	1,45	0,80	10,7	
Rojas		7	7	6,50	0,42	3,78	1,03	11,0	
Rojas		8	8	6,19	0,35	2,25	0,97	11,8	
Rojas		9	9	6,68	0,32	2,89	0,87	10,2	
La Primavera		Rojas	2	1	6,80	0,63	7,03	1,08	11,3
		Rojas	2	2	7,10	0,58	6,18	1,08	11,3
		Rojas	3	3	6,42	0,47	4,89	0,89	11,6
		Rojas	5	5	6,23	0,52	3,40	0,81	10,2
		Rojas	6	6A	7,16	0,50	6,19	1,13	11,3
	Rojas	6	6B	6,99	0,34	5,80	1,13	11,3	
	Rojas	7	7A	6,85	1,31	8,34	1,05	11,1	
	Rojas	7	7B1	6,83	0,69	5,15	1,05	11,1	

Tabla N° 7. Indicadores salinos y sódicos de aguas y suelos regados. Partido de Pergamino.

Estancia	Pozo	Lote	SUELOS			AGUAS	
			pH_s	CE_{Ex}	PSI	CE_a	RAS
Doña Pepa	1	1	6,00	0,24	2,30	1,02	5,33
	2	2	5,88	0,18	1,62	1,05	5,39
La Manesa	1	1A	6,20	0,35	3,09	0,90	7,68
	2	2A	6,74	0,45	1,80	1,16	7,87
	1	1B	6,23	0,31	3,74	0,90	11,29
	2	3	6,30	0,39	4,77	0,87	8,81

Tabla N° 8. Indicadores salinos y sódicos de aguas y suelos regados. Partido de Chivilcoy.

Estancia	Pozo	Lote	SUELOS			AGUAS	
			pHs	CEex	PSI	CEa	RAS
La Estrella	4	29	6.63	0.20	1.52	0.91	14.80
	1	48	7.08	0.48	3.96	0.94	15.90
	2	50	6.60	0.20	2.08	0.85	14.40

Tabla N° 9. Indicadores salinos y sódicos de aguas y suelos regados. Partido de C. de Areco

Estancia	Pozo	Lote	SUELOS			AGUAS	
			pHs	CEex	PSI	CEa	RAS
La Florida	Arg 32	32	6.30	0.34	4.83	1.30	6.29
	Arg 32	33	6.38	0.40	6.42	1.30	6.29
La Negrita	1A	7-8	6.40	0.55	6.54	1.11	5.86
	2A	10	6.30	0.32	3.93	1.16	5.86
	2	6	6.40	0.45	5.93	1.05	6.34
	3A	16	6.55	1.22	5.56	1.14	6.20
	3	19	6.75	0.50	6.02	1.09	6.66
	4A	1	6.35	1.15	5.51	1.13	5.85
	4	2	6.65	0.52	7.45	1.12	5.82
Carmen de Areco	5	21	6.10	0.43	3.72	1.10	5.83
	7	3	6.50	0.64	5.51	1.09	5.71

Tabla N° 10. Indicadores salinos y sódicos de aguas y suelos regados. Pdo. de Chacabuco

Estancia	Pozo	Lote	SUELOS			AGUAS	
			pHs	CEex	PSI	CEa	RAS
El Chacabuco	1	1	6.09	0.58	3.03	1.15	5.97
	2A	2A	6.03	0.59	2.53	1.12	5.81
	3	3	6.49	0.72	5.52	1.02	6.22
	4B	4B	6.17	6.17	0.38	1.11	6.10
	4B	4A	6.50	0.41	6.95	1.11	6.10
	5	5	6.34	0.66	5.07	1.09	6.80
	6	6	6.82	0.69	6.98	1.10	6.17
7	7AB	6.77	0.60	10.44	1.20	8.15	

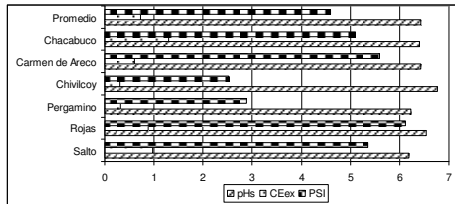


Figura N° 4. Datos medios de salinidad y sodicidad de los suelos regados.

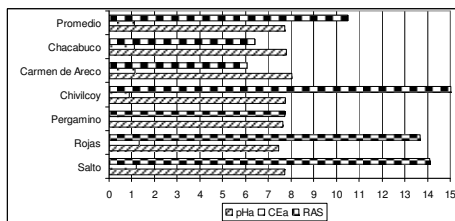


Figura N° 5. Datos medios de salinidad y sodicidad de las aguas de riego.

En principio se observa que, con excepción de Chacabuco para la CE, siempre el pHa, la CEa y la RAS superaron al pHs, CEex y PSI, respectivamente. En la Tabla 11 constan los incrementos porcentuales de los conjuntos pHa>pHs; CEa>CEex y RAS>PSI, siendo los referentes al pH cercanos entre si, mientras que

la dispersión de los incrementos tanto para las CE como para la relación RAS-PSI, es muy grande. Los coeficientes de variabilidad CV de los incrementos son los siguientes: 24,5 % para el pH, 99,2% para la CE y 107,3% para la relación RAS-PSI.

Tabla N° 11. Incrementos porcentuales entre los indicadores salinos y sódicos de las aguas de riego respecto de los suelos regados.

Partido	% de incremento		
	pHa > pHs	CEa > CEex	RAS > PSI
Salto	24,8	24,9	163,9
Rojas	13,8	50,5	123,6
Pergamino	22,9	207,9	167,7
Chivilcoy	14,6	207,0	496,6
Carmen de Areco	25,0	92,9	8,6
Chacabuco	21,7	-14,6	25,8

Se efectuaron análisis de regresión con los valores de salinidad y sodicidad de aguas y suelos. Los valores de r^2 , salvo el caso de Chivilcoy (0,59 y 0,78), son extremadamente bajos, entre 0,001 y 0,5, explicando la escasa correlación tanto entre la CEa y la CEex como entre la RAS y el PSI.

Por último, en la Figura 6 se muestra la frecuencia de intervalos de clase del PSI de los suelos regados, donde solamente en Rojas se encontró un valor de PSI=13,26, que representa el 1,3% de los datos del Partido. Los promedios de frecuencia de intervalos de clase de PSI para todos los Partidos fueron: 28,6% para PSI entre 0,0 y 3,0%; 47,7% para 3,1-6,0%; 20,1% para 6,1-9,0%; 3,4% para 9,1-12,0% y solamente el 0,2% para el intervalo 12,1-15,0%.

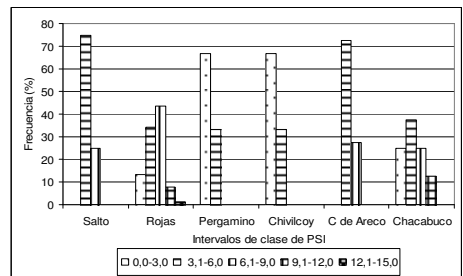


Figura N° 6. Frecuencia de ocurrencia de intervalos de clase de PSI de los suelos regados.

Conclusiones

La comparación de las clasificaciones manifiesta mayores diferencias para las clases de peligrosidad salina que de peligrosidad sódica. Respecto de las primeras, el US Salinity Lab, castiga excesivamente la salinidad debido al criterio de reducción del 50% del rendimiento de los cultivos por el aumento de la presión osmótica de la solución del suelo regado, en ausencia de lluvias. Para la FAO, el 1,5% de las aguas no tienen restricciones de uso, el 98,5% presentan ligeras a moderadas restricciones y ninguna alcanzó severas restricciones, en cambio para el IPG-INTA, el 95,5% de las aguas son de uso seguro y el 4,5% clasifica como de uso dudoso, sin encontrarse aguas de uso no recomendado. En cuanto al riesgo de alcalinización del suelo, el US Salinity Lab. utiliza los indicadores RAS y carbonato de sodio residual CSR sin considerar la resiliencia edáfica. Su pronóstico de sodificación basado en una relación lineal entre RAS y PSI, no es válido, hecho demostrado anteriormente por Génova (2007, 2011) y corroborado en este trabajo tanto por la escasa correlación RAS-PSI hallada como por la casi inexistencia de altos valores de PSI (el 99,8% de los registros fue inferior a $PSI=12\%$), con un único valor de $PSI=13,26\%$, recordando que se reconoce como sódico un suelo cuando su $PSI \geq 15\%$.

Por lo tanto, para riego complementario se desestima el uso del método del US Salinity Lab., y considera más específica la clasificación del IPG-INTA, pues toma en cuenta no solo las características hidroquímicas sino también los regímenes de precipitación, las dosis de agua de riego y las características físico-químicas de los suelos, aunque merecería la extensión y profundización de estudios en la región húmeda, para ajustar y validar las magnitudes de los indicadores salinos y sódicos de las aguas en función de la correlación entre esos indicadores y los correspondientes a los suelos regados.

Referencias

Ayers, R. y D. Westcot. 1989. La calidad del agua en la agricultura. *Serie FAO Riego y Drenaje N° 29 rev.1*. Roma, Italia.

Costa, J. L. 1999. Effect of irrigation water quality under supplementary irrigation on soil chemical and physical properties in the "Southern Humid Pampas of Argentina". *Journal of Crop Production 2(2):85-99*.

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. Ciencia del suelo*. 347:348 pp.

Génova, L. 2003. Resistencia y resiliencia de suelos pampeanos a la degradación salina y sódica, disturbados por riego complementario. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 23 (2-3) 119:130. Buenos Aires.

Génova, L. 2007. Resiliencia a la degradación salina y sódica de algunos suelos pampeanos, regados complementariamente con aguas subterráneas bicarbonatadas sódicas. *Tesis doctoral. FCAyF, UNLP*. La Plata.

Génova, L. 2010. Sustentabilidad de agroecosistemas pampeanos argentinos regados complementariamente. *Tomo II. Cap. Agrohidrología*. pp 605-612. Azul, Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-543-392-2.

Génova, L. 2012. Calidad del agua subterránea para riego complementario en la Pampa Húmeda argentina. *Rev. Fac. de Agronomía Vol 110 (2): 63-81*. La Plata.

González, N. 2004. Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. CISAUA-UNLP. La Plata. 20 pp.

Hernández, M; M. Fili; M. Auge y J. Ceci. 1975. Geohidrología de los acuíferos profundos de Buenos Aires. *Actas VI Cong. Geológico Arg.* pp 479-500. Buenos Aires.

PROSAP. 2006. Servir al agro. SAGyP. Buenos Aires. 180 pp.

Proyecto IPG-INTA. 1998. Síntesis de discusión del taller sobre calidad de aguas para riego. Proy. IPG. Noviembre 9-10 de 1998. Pergamino. 3 pp.

Richards, L. Editor. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. *Manual N° 60. Lab. de Salinidad del USDA*. Riverside, California. Washington. 172 pp.

Vázquez, M; G. Millán y P. Gelati. 2004. Salinidad y sodicidad de un suelo con riego complementario en el centro-E de Buenos Aires. *Resúmenes del XIX Cong. Arg. de la Ciencia del Suelo*. p. 255.