

# Evaluación de la calidad del agua y del suelo regado en forma complementaria en la región pampeana argentina

Martín Torres Duggan<sup>1,\*</sup>, Carina R. Álvarez<sup>2</sup> y Helena Rimski Korsakov<sup>2</sup>

- *La calidad del agua de riego es un factor central para diagnosticar el riesgo de salinización y sodificación de suelos regados en forma complementaria.*
- *En la región pampeana, la salinización (incremento de la conductividad eléctrica (CE) del suelo regado en forma complementaria es muy leve pero se evidencia un efecto significativo sobre la sodicidad del suelo.*
- *La evaluación y monitoreo de propiedades edáficas sensibles y del rendimiento de los cultivos deberían ser la base agronómica para minimizar posibles impactos del riego complementario.*

## Introducción

La mayoría de los sistemas de producción de granos de la Pampa Ondulada son en secano. A la vez, existen eventos de sequía estival más o menos severos en esta región (Maddonni, 2011). En este tipo de condiciones, el riego complementario incrementa marcadamente los rendimientos de los cultivos estabilizándolos en el tiempo (Pilatti et al., 2005; Torres Duggan et al., 2012). El riego complementario implica la aplicación de láminas inferiores a 300 mm año<sup>-1</sup>, en forma fraccionada cuando la humedad del suelo se aleja del rango óptimo (Génova, 2011). En general, el momento de riego coincide con etapas fenológicas críticas para la determinación del rendimiento de los cultivos, como la floración y/o el llenado de granos. Los sistemas productivos que utilizan riego complementario aplican un amplio gradiente de láminas, que depende de las condiciones agro-ecológicas, cultivos y tipo de sistema de producción. En general, en los sistemas de producción de semillas es donde se presentan las mayores condiciones de intensificación en el uso del riego complementario debido a su mayor rentabilidad. A pesar de los significativos beneficios productivos y económicos del riego, es importante considerar los posibles impactos del mismo sobre las propiedades edáficas, para así poder prevenir y/o corregir eventuales procesos de deterioro de este recurso natural. Cuando el agua de riego es de mala calidad, por ejemplo, un elevado valor de relación de adsorción de sodio (RAS) – y/o contenido de sales pueden desencadenarse procesos de salinización y/o sodificación, que alteran la condición físico-química del suelo.

La salinización del suelo es el incremento de la concentración de sales en la zona radical en niveles que pueden afectar el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Esto se debe al efecto osmótico, toxicidad de iones y/o deficiencias nutricionales derivadas del desbalance entre los diferentes iones. Generalmente, los procesos de salinización son más frecuentes en regiones áridas y semiáridas, en donde el riego es de tipo

integral y la dinámica hídrica y salina está regulada por la calidad del agua aplicada (Lavado, 2009). Por otro lado, la sodificación del suelo se genera por el incremento en el contenido de sodio (Na) intercambiable (porcentaje de saturación de sodio, PSI) del mismo, fuertemente asociado con el uso de aguas con alto RAS. La sodicidad es una problemática frecuente en sistemas de producción bajo riego complementario de zonas húmedas y sub-húmedas, donde los niveles de salinidad del suelo se mantienen bajos debido a la lixiviación generada por las lluvias (Sainato et al., 2006). La sodicidad provoca una serie de efectos, de los cuales los más severos son la degradación estructural del suelo. A esto se suma, la compactación excesiva causada por el tránsito de maquinarias pesadas con el suelo con baja capacidad portante debido a su mayor contenido hídrico. Es importante considerar los posibles impactos negativos del riego complementario sobre el suelo para generar un manejo sustentable de los agroecosistemas regados de la región pampeana. Los objetivos de este trabajo son: i) caracterizar la calidad del agua subterránea utilizada en riego complementario en la región, ii) determinar el efecto del riego complementario sobre la salinización y sodificación edáfica, iii) describir la problemática de la compactación en suelos regados en zonas húmedas y/o subhúmedas, y iv) brindar un marco conceptual y algunas recomendaciones prácticas para el monitoreo y manejo sustentable de suelos regados en forma complementaria.

## Calidad del agua subterránea utilizada en riego complementario

En la región pampeana, los acuíferos más aprovechados para el riego son el Pampeano y el Puelche. La aptitud de uso del agua para riego se evalúa a través del análisis químico de muestras extraídas de las perforaciones utilizadas en los establecimientos y debería incluir las siguientes variables: pH, CE, cationes y aniones. A partir de estos análisis, se pueden calcular variables diagnósticas como el RAS. La mayor parte del agua de riego utilizada en la Pampa Ondulada proviene principalmente del acuífero

<sup>1</sup> Tecnología Agropecuaria. TECNOAGRO

<sup>2</sup> Universidad de Buenos Aires. FAUBA

\* Autor de contacto. Correo electrónico: [torresduggan@tecnogro.com.ar](mailto:torresduggan@tecnogro.com.ar)

Puelche, cuyas aguas son bicarbonatadas sódicas y, por lo tanto, pueden conducir a procesos de salinización y/o sodificación de los suelos (Lavado, 2009).

### Sistemas de clasificación de aguas

Las aguas de riego pueden ser clasificadas por su aptitud. Para las condiciones agro-ecológicas de la región pampeana y, específicamente para sistemas de riego complementario, se dispone de la propuesta del IPG-INTA (1999). En la **Tablas 1 y 2** se presenta la clasificación del agua de acuerdo a su salinidad (CE) y su riesgo de sodicidad (RAS).

Para las condiciones agro-ecológicas del área central de la provincia de Córdoba se dispone de una clasificación de aguas de referencia (Rampoldi et al., 2010). La misma considera como categorías de riesgo de salinización <1.4 dS m<sup>-1</sup>; 1.4-2.5 dS m<sup>-1</sup> y >2.5 dS m<sup>-1</sup> como bajo, moderado y alto, respectivamente. Se puede apreciar que es algo más restrictiva que la clasificación del INTA (1999). Esto es

**Tabla 1. Clasificación de aguas de riego complementario de acuerdo a su salinidad determinada a través de su conductividad eléctrica (CE) (INTA, 1999).**

	CE (dS m <sup>-1</sup> )
Aguas seguras	< 2
Aguas dudosas	2-4
Aguas riesgosas	> 4

*Nota: se supone que la capa freática se encuentra por debajo de 3 m*

**Tabla 2. Clasificación de aguas de riego complementario de acuerdo al riesgo de sodicidad evaluado a través de la relación de adsorción de sodio (RAS) para distintas zonas de la región pampeana (INTA, 1999). Se brindan características de las condiciones de evaluación.**

Zona	Valor RAS del agua			Características de condiciones de evaluación
	Aceptable	Dudosa	Riesgosa	
SE Buenos Aires	< 15	15-20	> 20	6-7% MO, 25 a 26% de arcilla. Riego promedio: 70-160 mm año <sup>-1</sup>
N Buenos Aires, SE Santa Fe y SO Entre Ríos	< 10	10-15	> 15	2,5-3% MO, 22 a 24% de arcilla. Riego promedio: 150-200 mm año <sup>-1</sup>
NE Santa Fe	< 7	7-12	> 12	2% de MO, arcilla 26%, limo 70%. Riego promedio 150-300 mm año <sup>-1</sup>
Centro S Córdoba	< 5	5-10	> 10	1,5%-2% de MO, textura franco limosa en superficie. Riego promedio: 200-350 mm año <sup>-1</sup>

**Tabla 3. Rangos de pH, conductividad eléctrica (CE) y relación de adsorción de sodio (RAS) de muestras de agua de distintos relevamientos realizados en la región pampeana.**

Región	Nº de muestras	pH	CE dS m <sup>-1</sup>	RAS
Región Pampeana (Génova, 2011)	66	7.30-7.65	0.66-3.40	2.2-24.1
Pampa Ondulada y Entre Ríos (Álvarez et al., 2016)	317-333	6.5-9.0	0.1-3.3	1-44
Córdoba (Rampoldi et al., 2010)	258	-	0-9	0-16*

*Notas: \*RASaj*

de utilidad considerando las extensas superficies regadas de la provincia en áreas semiáridas, en donde es mayor la influencia de la calidad del agua de riego. En cuanto al riesgo de sodificación, la propuesta de clasificación considera el RAS ajustado como variable diagnóstica, teniendo en cuenta tres categorías sin diferenciar zonas y/o condiciones edafo-climáticas particulares (RAS ajustado <10; 10-15 y >15 para las categorías bajo, moderado y alto riesgo de sodificación, respectivamente).

### ¿Cómo es la calidad del agua que utilizan los productores regantes?

En la **Tablas 3 y 4** se presenta la calidad del agua de numerosas muestras y su clasificación según el riesgo de salinización y sodificación en riego complementario. Se puede observar una gran variabilidad según la escala (campo muestral) y región geográfica considerada. Debido a esta razón, es importante que cada establecimiento analice su situación particular y realice un monitoreo de la calidad del agua como base para definir la aptitud de uso de las mismas.

### Impacto del riego complementario sobre la salinidad y sodicidad edáfica

Las sales que son aportadas por el riego pueden generar procesos de salinización y/o sodificación del suelo. Como se mencionó anteriormente, la salinización es frecuente en regiones áridas. Cuando el riego aporta cantidades significativas de Na (bicarbonatos) al suelo, puede ocurrir la sodificación del mismo. Este proceso consiste en el aumento del PSI, estrechamente vinculado con la

**Tabla 4. Porcentaje de muestras de agua sin riesgo o con riesgo (moderado y severo) de salinización o sodificación según distintos relevamientos realizados en la región pampeana.**

Región	Nº de muestras	Salinización		Sodificación	
		Sin riesgo	Con riesgo	Sin riesgo	Con riesgo
		----- % -----		----- % -----	
Región Pampeana (Génova, 2011)	66	95	5	86	14
Pampa Ondulada y Entre Ríos (Álvarez et al., 2016)	300	87	13	43	57
Córdoba (Rampoldi et al., 2010)	258	82	18	89	11

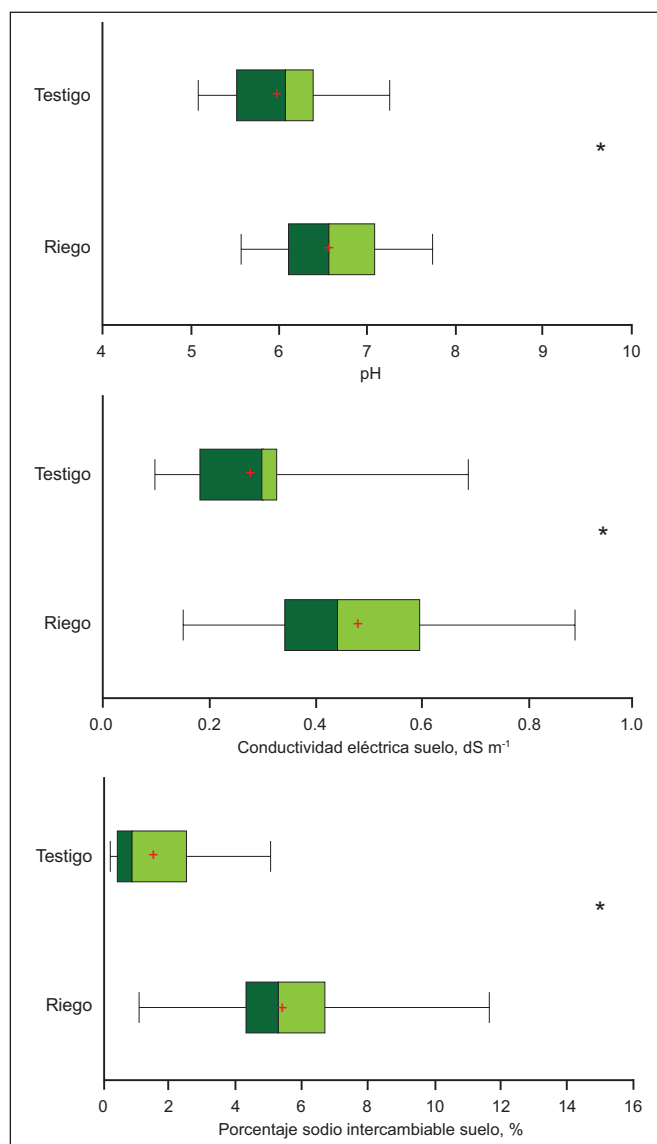
*Notas: \*RASaj*

calidad del agua de riego aplicada, en especial su RAS. La sodificación puede ocurrir tanto en regiones áridas o semiáridas como en zonas húmedas. Sin embargo, su diagnóstico y pronóstico es muy diferente en cada condición climática. En regiones áridas y semiáridas, donde los valores de CE edáficos son frecuentemente elevados, los límites críticos de PSI son más altos ya que la presencia de sales en la solución hace que el suelo se encuentra floculado (precipitado). Por lo tanto, hay un mayor margen para aportar Na sin que se produzcan efectos estructurales desfavorables. Por el contrario, en regiones húmedas o sub-húmedas, las precipitaciones producen el lavado de sales durante el otoño, manteniendo bajos los niveles de CE del suelo (Génova, 2011). Cuando se utiliza agua de riego con altos valores de RAS, a igualdad de otros factores, se produce un incremento del PSI del suelo a expensas del desplazamiento del calcio o magnesio intercambiables adsorbidos en el complejo de cambio del suelo.

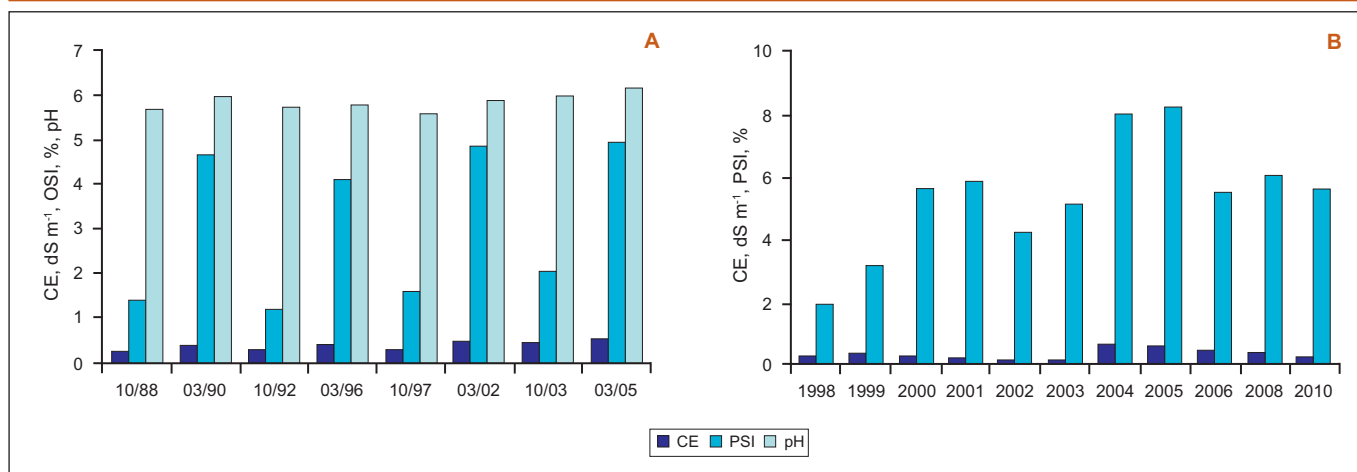
Los límites críticos de PSI considerados para definir a un suelo como "sódico" (PSI > 15%) fueron propuestos para regiones áridas y/o semiáridas donde los suelos presentan altos valores de CE. Por lo tanto, en regiones húmedas o sub-húmedas, donde se utiliza el riego complementario, los límites críticos pueden ser significativamente más bajos. En la **Figura 1** se muestran los resultados de un relevamiento de suelos con riego complementario en la Pampa Ondulada y Pampa Plana (coincidente con el centro y norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe), donde se realiza producción de semillas de maíz en lotes con prolongada historia de riego. Estos cultivos regados forman parte de rotaciones con cultivos no regados (dominantes en las rotaciones), principalmente soja y trigo.

El mayor efecto del riego complementario se evidencia en el incremento del PSI (sodicidad), mientras que el aumento de la CE, si bien resultó estadísticamente significativo, se mantuvo en niveles muy bajos y alejados de los umbrales críticos de salinidad. Del mismo modo, el aumento del pH fue leve, sin implicancias sobre la biodisponibilidad de los nutrientes.

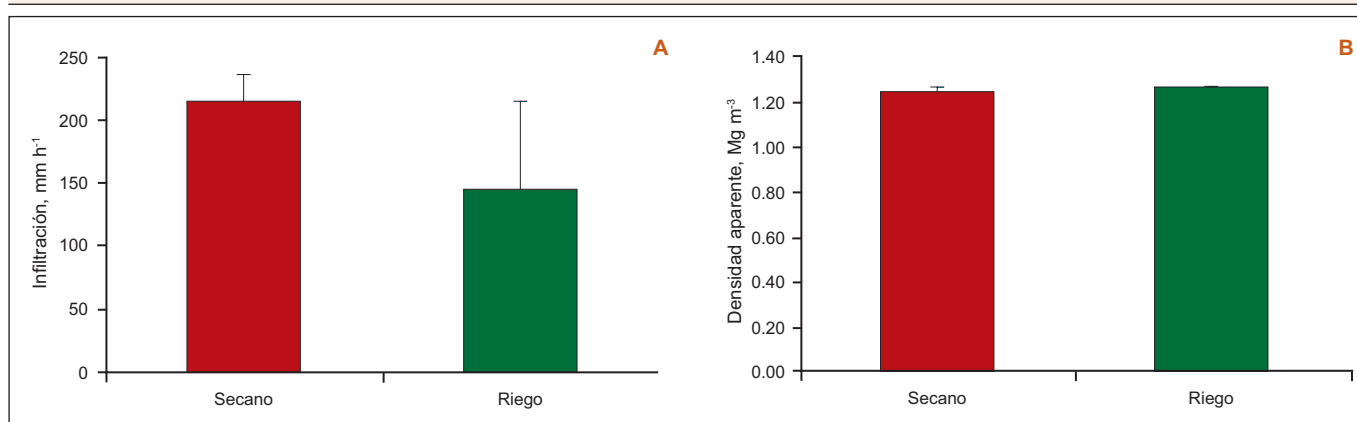
Cuando se analiza la dinámica temporal de la salinidad y sodicidad de suelos regados en forma complementaria se evidencia un patrón de ascenso de los niveles de PSI durante la temporada de riego y un subsiguiente descenso



**Figura 1. Gráficos de cajas (Boxplot) de los valores de pH, salinidad (CE) y sodicidad (PSI) de 0-20 cm de suelos regados en forma complementaria en la porción central de la región pampeana en relación al suelo no regado (testigo). Adaptado de Álvarez et al. (2016). Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75, y la interna la mediana (0.50). Los extremos de las líneas horizontales representan los valores mínimos y máximos. Los signos "+" representan las medias de los tratamientos. Diferencias significativas entre las medias de los tratamientos: \* (t-apareado; p < 0.05).**



**Figura 2. A. Patrón de variación temporal del conductividad eléctrica (CE), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y pH en suelos regados integrando diversos sitios de la región (Génova, 2011). B. CE y PSI evaluados en un suelo con prolongada historia de riego complementario en sistemas de producción de maíz y alta intensificación de uso del riego (datos no publicados).**



**Figura 3. A. Tasa de infiltración en seco y riego. B. Densidad aparente (estrato 0-5 cm) en seco y riego. Las barras indican el error estándar. Fuente: Torres Duggan et al. (2012).**

provocado por las lluvias y la capacidad de recuperación del suelo asociadas con su capacidad de intercambio de cationes (Génova, 2011). Por el contrario, la CE presenta pocas fluctuaciones a través del tiempo y se mantiene en niveles bajos (**Figura 2**).

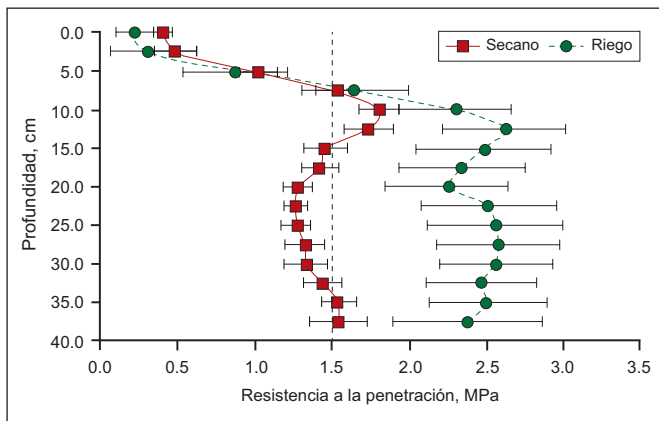
El patrón de ascenso y descenso del PSI se observa en cualquier suelo regado en forma complementaria, pero su dinámica puede ser diferente como así también los niveles de PSI alcanzados. Algunos trabajos indican que no se presenta acumulación sódica (**Figura 2A**; Génova 2011), mientras que otros estudios (datos no publicados) muestran un patrón con fases o subfases de acumulación sódica (**Figura 2B**). Como se mencionó antes, el PSI es un indicador del riesgo de sodificación del suelo, pero no permite determinar *per se*, si hay procesos de degradación física del mismo. Por consiguiente, no permite establecer de un modo categórico la sustentabilidad o no de la práctica del riego complementario considerando solamente dicho índice.

### Impacto del riego complementario sobre la calidad física edáfica

La tasa de infiltración del agua en el suelo puede ser afectada por la práctica del riego en la región pampeana,

aún en suelos con niveles de PSI “bajos” o “moderados” si se consideran los límites críticos de sodicidad válidos para regiones áridas (Andriulo et al., 1998; Pilatti et al., 2005; Mon et al., 2007; Torres Duggan et al., 2012). Los resultados obtenidos en el área de estudio son dispares. Por un lado, en un estudio realizado en el sur de Santa Fe, sobre un suelo con 13 años de historia de riego complementario con agua de categoría «riesgosa» en relación al RAS y «segura» por su CE según la clasificación de INTA (1999), y manejado en siembra directa (pH = 7.0; CE = 0.58 dS m<sup>-1</sup>; PSI = 6.7%; MOT = 4%), no se observó una reducción estadísticamente significativa en la tasa de infiltración (Torres Duggan et al., 2012; **Figura 3A**). La ausencia de diferencia en la tasa de infiltración (metodología USDA) es coincidente con lo reportado en una amplia red de experimentos efectuadas en el sudeste de Buenos Aires en sistemas de siembra directa, donde no se detectaron impactos significativos del riego sobre la conductividad hidráulica no saturada (Costa y Aparicio, 2008). En contraste con estos resultados, otras experiencias muestran una importante disminución de la tasa de infiltración bajo riego en suelos laboreados (Andriulo et al., 1998; Costa y Aparicio, 2008).

En el trabajo de Torres Duggan et al. (2012), la densidad aparente del suelo regado no difirió estadísticamente



**Figura 4. Perfil de distribución de la resistencia a la penetración en el estrato de 0-40 cm. Serie de suelo: Venado Tuerto. Fuente: datos no publicados. La línea roja indica el límite de resistencia a la penetración de 1.5 MPa.**

del testigo (secano) (Figura 3B). Los valores de densidad aparente se ubicaron en valores esperables según la textura del suelo y coinciden con los generalmente observados en el área de estudio (Álvarez et al., 2009).

La inestabilidad estructural medida en el estudio de Torres Duggan et al. (2012) fue estadísticamente menor en riego, pero la diferencia fue mínima. En ambos tratamientos, la inestabilidad estructural fue baja (riego = 0.52 mm; secano = 0.6 mm), valores frecuentes bajo siembra directa (Álvarez et al., 2009). Los valores bajos de inestabilidad observados podrían vincularse con el manejo en siembra directa. En el tratamiento regado, la mínima disminución de la inestabilidad observada puede relacionarse con la presencia de bloques angulares moderados a fuertes, comparado con secano donde la estructura era granular o migajosa. Estas diferencias estructurales observables a simple vista concuerdan con las distintas resistencias a la penetración observada bajo riego. En la Figura 4 se presentan los resultados de otro

experimento de campo efectuado sobre un suelo regado en forma complementaria perteneciente a la serie Venado Tuerto donde se evaluó el perfil de resistencia mecánica en riego y secano. Ambos tratamientos presentaban igual contenido de humedad.

Se observó una mayor resistencia a la penetración media y mayor variabilidad en riego que en secano. La resistencia a la penetración media de la capa 0-40 cm bajo riego superó en 56% a la medida en el área de secano. Las mayores diferencias en resistencia mecánica entre ambientes regados y de secano, se observaron a partir de los 10 cm de profundidad. El promedio de resistencia mecánica en la capa de 0-40 cm en los suelos fue superior al umbral de 1.5 MPa reportado por la literatura, a partir del cual se verifica un 50% de reducción del crecimiento de las raíces de maíz. Podemos concluir a partir de este trabajo y de otros realizados por diferentes autores, que la resistencia mecánica es una variable sensible para diagnosticar situaciones de compactación/endurecimiento y los efectos del manejo sobre la condición física edáfica (Álvarez et al., 2009; Álvarez, 2013).

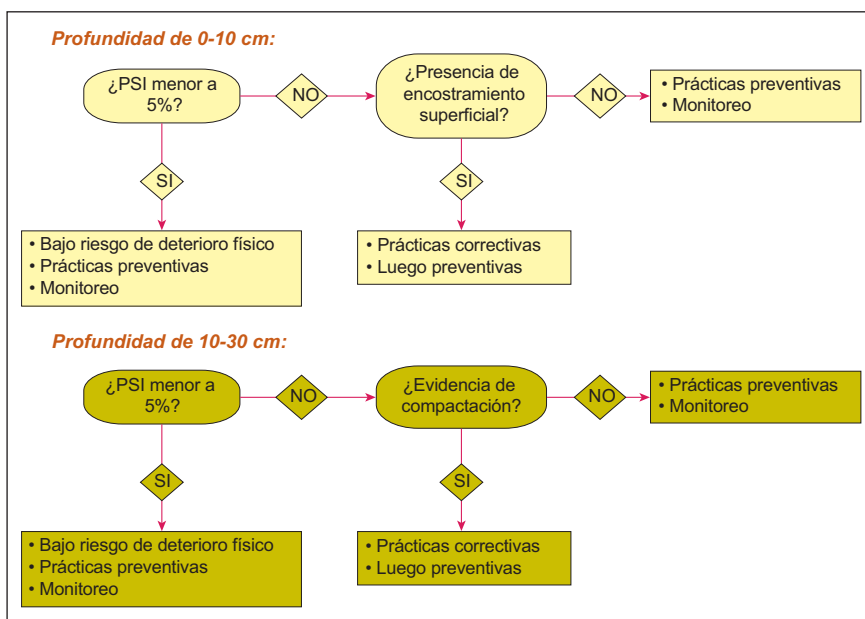
### Bases para la evaluación y monitoreo de suelos regados en forma complementaria

El monitoreo de la calidad del suelo bajo riego incluye la evaluación de la calidad del agua, de la salinidad (CE) y sodicidad del suelo (PSI) y la caracterización visual de la condición física. A ello pueden sumarse valoraciones cuantitativas de la calidad física como resistencia a la penetración e infiltración, para tener un panorama más completo.

Si bien hay una dinámica de incremento y reducción de los niveles de PSI en post y pre-temporada de riego, respectivamente, los efectos sobre la dinámica estructural del suelo pueden seguir afectando a los cultivos posteriores al cultivo regado. Este aspecto debe ser considerado en el monitoreo integral de

los agro-ecosistemas en donde se aplica riego complementario. En la Figura 5 se muestra un esquema conceptual para el diagnóstico de la calidad de suelos regados en forma complementaria, cuya finalidad es aportar criterios simples y prácticos que permitan mejorar la sustentabilidad de los agro-ecosistemas regados. El modelo plantea dos profundidades de muestreo: una superficial, que permite caracterizar el problema de infiltración, y otra a mayor profundidad, que permite detectar problemas de compactación.

Las prácticas de manejo a implementar tanto para prevenir como para corregir procesos de degradación de suelos regados en forma complementaria, deben ser establecidas en base a la información experimental local y a principios de buenas prácticas agrícolas en ambientes regados (Tabla 5).



**Figura 5. Esquema conceptual para el diagnóstico de la condición de calidad de suelos regados en forma complementaria. Fuente: elaboración propia.**

**Tabla 5. Criterios y acciones para el diagnóstico, prevención y corrección de procesos de deterioro de la condición física edáfica en suelos regados en forma complementaria.**

Contexto	Prácticas recomendadas
Diagnóstico	<p>Análisis de suelos y seguimiento de variables de interés: pH, CE, MO, CIC, cationes. Cálculo del PSI.</p> <p>Análisis de aguas: pH, CE, aniones, cationes. Cálculo del RAS y RAS ajustado.</p> <p>Observación del perfil (estructura, presencia de costras, entre otras).</p> <p>Evaluación de la condición física (infiltración, resistencia mecánica, entre otras).</p>
Prevención	<p>Ajuste de láminas de riego según necesidad real.</p> <p>Evitar la compactación por tránsito de maquinaria durante labores culturales y de cosecha.</p> <p>Rotación con gramíneas y cultivos de cobertura.</p>
Corrección	<p>Reducción de láminas de riego o suspensión temporaria del riego.</p> <p>Aplicación de enmiendas minerales y orgánicas.</p> <p>Remoción mecánica de costras y/o zonas compactadas mediante implementos que no remuevan o alteren la cobertura (por ejemplo paratill/paraplow).</p>

Respecto del muestreo del suelo, si el lote es homogéneo se recomienda tomar 10-15 submuestras sobre una diagonal para realizar una muestra compuesta. Esta muestra se enviará al laboratorio para su análisis. Las esquinas del lote sin regar pueden ser utilizadas como áreas de referencia (secano). Si el lote no es homogéneo, las estaciones de muestreo se deben establecer en las distintas zonas representativas del lote. Para ello, idealmente es importante disponer de información de suelos a escala de detalle (por ejemplo mapas básicos de suelos) y también información topográfica, como para facilitar la selección de los sitios de muestreo.

### A modo de conclusión

- La calidad del agua de riego es un factor central para diagnosticar el riesgo de salinización y sodificación de suelos regados en forma complementaria. En regiones húmedas y subhúmedas, como las que dominan en los agro-ecosistemas en donde se aplica el riego complementario, se deben utilizar sistemas de clasificación de aptitud de aguas específicas para la región pampeana. Si bien la propuesta del INTA (1999) es preliminar y requiere de un mayor grado de validación y desarrollo, es un valioso marco de referencia para evaluar la calidad del agua de riego en este tipo de sistemas de producción
- La información experimental disponible en la región pampeana, indica que, en general, la salinización (incremento de la CE) del suelo regado en forma complementaria es muy leve y la CE se mantiene en valores muy bajos, no limitantes del crecimiento y/o rendimiento de los cultivos. Por el contrario, hay evidencias de un efecto significativo del riego complementario sobre la sodicidad del suelo, mostrando un característico patrón ascendente del PSI luego de la temporada del riego, y un subsiguiente descenso.

- Se dispone de información experimental que indica que, aún con bajos niveles de PSI del suelo, se evidencian procesos de degradación física tales como caídas en la tasa de infiltración y/o procesos de encostramiento superficial y/o aumento de la resistencia a la penetración. Asimismo, al aporte de Na al sistema se suma la compactación de suelos derivada del tránsito, agravando el deterioro de la calidad física con efectos directos sobre el crecimiento de los cultivos.
- El manejo sustentable de suelos regados en forma complementaria requiere de la aplicación un modelo conceptual específico para el diagnóstico y manejo de limitaciones de fertilidad en ambientes húmedos de la región pampeana. En este sentido, la evaluación y monitoreo de propiedades edáficas sensibles y del rendimiento de los cultivos deberían ser la base agronómica para minimizar posibles impactos del riego complementario, y de esta manera, maximizar la sustentabilidad de los agro-ecosistemas.

### Bibliografía

- Álvarez, C.R., M.A. Taboada, F.H. Gutiérrez Boem, A. Bono, P.L. Fernández, y P. Prystupa. 2009. Topsoil properties as affected by tillage systems in the Rolling Pampa region of Argentina. *Soil Science Society of America Journal* 73: 1242-1250.
- Álvarez, C.R. 2013. Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: caracterización, génesis y manejo. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (IAH)* 10. Junio. IPNI. 8 p.
- Álvarez, C.R., H. Rimski Korsakov, y M. Torres Duggan. 2016. Calidad de agua e impacto del riego complementario en la Región Pampeana. *Actas del XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. G. Cholaky y J.M. Cisneros (compiladores). Editorial Unirio. 278 p.

- Andriulo, A., M.L. Galetto, C. Ferreira, G. Cordone, y C. Sasal. 1998. Efecto de 11 Años de riego complementario sobre un Argiudol típico Pampeano. *Ciencia del Suelo* 16:125-127.
- Costa, J.L., y V. Aparicio. 2008. Evaluación de propiedades químicas y físicas en lotes con pivote central en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.
- Génova, L.J. 2011. Calidad del agua subterránea para riego complementario en la Pampa Húmeda argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*. 119:63-81 .
- INTA. 1999. Recomendaciones para la utilización de aguas para riego en función de su calidad, síntesis de los trabajos realizados en las unidades del INTA-IPG. Seminario de capacitación. Impacto ambiental del riego complementario. Pergamino, Argentina. 87 p.
- Lavado, R.S. 2009. Salinización y sodificación de suelos de producción agrícola extensiva por riego complementario. En: *Alteraciones de la fertilidad de los suelos*. Taboada, M.A. y Lavado, R.S (Editores). Editorial FAUBA. 163 p.
- Maddonni, G. 2011. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural región of Argentina, a probabilistic approach. *Theoretical and Applied Climatology*. 21 p.
- Mon, R., C. Irurtia, F.G. Botta, O. Pozzolo, F. Bellora Melcón, D. Rivero, y M. Bomben. 2007. Effects of supplementary irrigation on chemical and physical soil properties in the rolling pamparegión of Argentina. *Ciencia e investigación agraria*. 34:143-150.
- Pilatti, M.A., S. Imhoff, P. Ghiberto, y R. Marano. 2005. Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma* 133 (2006) 431-443.
- Rampoldi, E.A., M. Boccoardo, C. Álvarez, E. Martelloto, A.I. Salinas, E.F. Lovera, J.P. Giubergia, y V. Bustos. 2010. Calidad de las aguas subterráneas utilizados para riego suplementario en la provincia de Córdoba. INTA-Manfredi. 20 p.
- Sainato, C., G. Galindo y O.S. Heredia. 2006. Agua subterránea: Explotación y su utilización agropecuaria. 1 ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía. 115 p.
- Torres Duggan, M., C.R. Álvarez, M.A. Taboada, T. Celesti, F. Vignarolli, y D. D'ambrosio. 2012. Riego complementario en un Argiudol típico de la Pampa Ondulada argentina bajo siembra directa: efectos sobre algunas propiedades químicas y físicas. *Ciencia del Suelo* 30:201:207.

## Curvas de acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Coolward cultivada en invernadero en México

Anacleto Sosa Baldivia<sup>1,5</sup>, Guadalupe Ruíz Ibarra<sup>2</sup>, Juliana Padilla Cuevas<sup>3</sup>, Jorge D. Etchevers Barra<sup>3</sup>, Javier Z. Castellanos Ramos<sup>4</sup>, y Raul Rene Robles de la Torre<sup>5</sup>

### Introducción

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una hortaliza que por su ciclo corto y dinámica de crecimiento poco común requiere precaución al momento de realizar su fertilización (Maroto, 1990). Esto se asocia a que en su etapa de plántula puede sufrir daños por toxicidad de fertilizantes (Kamata, 1969), y un mal manejo de su fertilización nitrogenada, además de reducir su rendimiento y calidad, puede incrementar el contenido de nitratos en las hojas los cuales son nocivos para el hombre (Libert y Franceschi, 1987). De acuerdo con Welch et al. (1983), la lechuga requiere un suministro adecuado de nutrientes en el último tercio de su ciclo para su óptimo crecimiento ya que 60% de sus requerimientos nutricionales son cubiertos en este periodo. Por otro lado, la baja eficiencia de la lechuga para recuperar los nutrientes aplicados vía fertilización (Sosa, 2007), a la par de que los agricultores aplican altas dosis de fertilización cuando su crecimiento es todavía lento (Costigan, 1987; Gardner y Pew, 1979), conduce a que grandes cantidades de nitrógeno (N) se pierdan por lixiviación y desnitrificación (Pritchard et al., 1995) y se

contaminen con nitratos los acuíferos (Castellanos et al., 1999; Fontes et al., 1997). Una práctica que se utiliza para mejorar la eficiencia de los cultivos para absorber los nutrientes que se aplican al suelo es fraccionar la fertilización, y para realizar la curva de acumulación nutrimental es la mejor herramienta (Bugarin-Montoya et al., 2011; Bertsch, 2005; Castellanos, 1997; Zink y Yamaguchi, 1962).

Considerando la relevancia de esta información, desde hace 55 años varios investigadores se han dedicado a establecer el patrón de acumulación nutrimental de los cultivos hortícolas de mayor interés antropocéntrico entre de los que se incluye la zanahoria (Sosa et al., 2013; Evers, 1988), brócoli, (Castellanos et al., 1999), pepino (Honorato et al., 1993; Ward, 1967), tomate (Tapia y Gutiérrez 1997), chile (Burgueño, 1994), melón (Tyler y Lorenz, 1964), cebolla (Duque et al., 1983; Zink, 1966), ajo (Bertoni et al., 1988; Zink 1963), fresa (May et al., 1994), sandía (Villalobos y Salas, 2012), pimienta morrón (Valle, 2010), apio (Rincón et al., 2002), calabacita (Rodas-Gaitán et al., 2012) y rábano (Sosa, 2007). Con relación al

<sup>1</sup> Investigador de Amway-Nutrilite S. de R.L. Rancho el Petacal Jalisco, México

<sup>2</sup> Profesor del Instituto Tecnológico Superior de Tamazula de Gordiano Jalisco, México

<sup>3</sup> Profesor del Colegio de Postgraduados, Montecillos Estado de México, México

<sup>4</sup> Director del Laboratorio Fertilab, Celaya Guanajuato, México

<sup>5</sup> Profesor de CIBA-IPN, Campus Tlaxcala México

\* Autor de contacto. Correo electrónico: anacleto.sosa@amway.com