

# Calidad del agua subterránea con fines de riego, en el noreste de la provincia de Buenos Aires

*Alejandra Bernárdez<sup>1</sup> y Osvaldo Valenzuela<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> INTA Estación Experimental Agropecuaria, San Pedro. Ruta 9 Km 170, 2930 San Pedro, Buenos Aires.

bernardez.alejandra@inta.gob.ar, valenzuela.osvaldo@inta.gob.ar

## RESUMEN

Dada la existencia de datos puntuales y la falta de sistematización de información sobre la calidad de agua que se utiliza en las producciones intensivas del área de influencia de la EEA INTA San Pedro, surge la necesidad de caracterizar y clasificar el recurso. Se plantea el objetivo de crear una base de datos del recurso agua subterránea y valorar su aptitud para riego en los partidos de San Nicolás, Ramallo, San Pedro, Baradero y Zárate. Se muestreó un total de 81 pozos, y se determinó pH, salinidad, calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, carbonatos, cloruros y sulfatos, el boro no fue determinado. El 87,7% de las aguas muestreadas son bicarbonatadas sódicas y el resto bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas. El pH promedio es 7,63 ( $\pm 0,39$ ), la salinidad promedio es 0,85 dS.m<sup>-1</sup> ( $\pm 0,15$ ), el RAS 7,65 ( $\pm 3,44$ ) y el CSR 6,09 ( $\pm 1,84$ ). De acuerdo a Riverside, el 43,2% es C3-S2, agua altamente salina y de sodicidad media, el 19,8% es C3-S1, agua altamente salina y sodicidad baja, el 13,6% es C3-S3, agua altamente salina y sodicidad elevada, el 11,1% es C2-S1, agua de salinidad media y sodicidad baja y el 12,3% es C2-S2, agua de salinidad media y sodicidad elevada. Según el esquema FAO, el 90,1% de las muestras se asocian a problemas de salinidad leves a moderados, mientras que el 88% están asociados a problemas leves a moderados de infiltración. En cuanto a la toxicidad por sodio, el 46,9% provocarían inconvenientes en riego por superficie y un 95,7% en riego por aspersión. Se concluye que aunque se trate de riego complementario, en la mayoría de los casos relevados se debe realizar alguna práctica de manejo para evitar que ocurran procesos de salinización, alcalinización y sodificación, los cuales dependerán del sistema productivo y su topografía entre otros.

Palabras claves: análisis de agua, aptitud para riego, clasificaciones.

## INTRODUCCIÓN

En la región Pampeana las unidades hidrológicas más aprovechadas con fines de riego son los acuíferos Puelche y Pampeano; estos se encuentran contenidos en las unidades geológicas Pampeano, Postpampeano y Arenas Puelches (Génova, 2011). El Puelche es un acuífero semiconfinado limitado superiormente por un acuitardo e inferiormente por un acuicludo que lo separa del acuífero Paraná, su espesor varía entre 20 y 90 metros, aumentando hacia los ríos Paraná-de la Plata. Su recarga es autóctona e indirecta a partir del acuífero Pampeano, en la mayor parte del área prevalecen aguas bicarbonatadas sódicas de baja salinidad, mientras que en zonas de descarga es posible encontrar aguas del tipo cloruradas sódicas (Auge et al. 2002). Las clasificaciones agronómicas de calidad de agua existentes, en general han sido desarrolladas para climas áridos y semiáridos, en donde el principal aporte de agua a los cultivos es la suministrada por el riego. Estas clasificaciones se basan en el estudio del efecto de las sales y el sodio sobre los suelos y el efecto directo de algunos iones específicos sobre los cultivos (Andriulo, 1999) por el uso sostenido del recurso en el largo plazo. Sainato et al. (2006), aducen que la evaluación de la calidad de agua con fines de riego, no sólo debiera ser definida por los parámetros anteriormente citados, sino que esta debiera ser evaluada teniendo en cuenta características climáticas, tipo de suelo, cultivo y tipo de sistema de riego. En la región Pampeana Húmeda Argentina, en cultivos extensivos, el riego es complementario. En este tipo de riego las aplicaciones se realizan cuando la humedad del suelo se aleja del rango considerado óptimo, este valor óptimo es producto de la dinámica hídrica establecida por la recarga de las lluvias y la descarga debida al consumo evapotranspirativo en las etapas fenológicas en las que los cultivos presentan sensibilidad a los déficit hídricos (Génova, 2011). Sin embargo, en la zona norte de la provincia de Buenos Aires es escasa la información del uso del agua subterránea en el riego de frutales, plantas de vivero y hortícolas, más aún en aquellos que se cultivan en invernáculo. Los objetivos planteados en este trabajo surgen de la existencia de datos puntuales y la falta de sistematización de información sobre la calidad de agua que se utiliza en las producciones intensivas del área de influencia de la Estación Experimental Agropecuaria INTA San Pedro.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron ochenta y un muestras de agua provenientes de perforaciones (agua subterránea) situadas en establecimientos productivos dedicados a la fruticultura, horticultura y vivero, las muestras fueron tomadas siguiendo el protocolo de muestreo de aguas para riego propuesto por Basan Nickisch et al. (2011). El relevamiento fue realizado dentro del área de influencia de la Estación

Experimental San Pedro. Esta se extiende sobre los partidos de San Nicolás, Ramallo, San Pedro, Baradero y Zárate, al norte de la provincia de Buenos Aires. El área bajo estudio integra la región de Noroeste de la Llanura Chaco-Pampeana Húmeda (Auge, 2004). El relieve es predominantemente ondulado y en parte recortado por cañadas, arroyos y ríos (Gómez y Nakama, 1991). El clima es templado-húmedo, con precipitaciones abundantes en primavera y verano. A partir de los registros climatológicos de la estación agrometeorológica de la EEA San Pedro (Zanek, et al. 2005), se obtiene que la precipitación media anual registrada es de 1066,1 mm, 1978 fue el año más lluvioso con un registro de 1531,8 mm y el año 2005 fue el más seco sólo acumuló un total de 745,5 mm. Del análisis de los valores promedios del balance hidrológico surge que existe un exceso de las precipitaciones sobre la evapotranspiración durante el invierno y un leve déficit en el verano (Gómez y Nakama, 1991). En cuanto a la temperatura (valores medios) se observa una diferencia superior a 10°C entre el promedio del mes más cálido, enero (24,0°C), y del mes más frío, Julio (10,3°C). El período libre de heladas agronómicas se extiende desde el 6/10 al 1/5. Los suelos del área bajo estudio pertenecen al orden Molisol, gran grupo Argiudol y sub grupo Vértico, ricos en materiales finos (arcillas y limos) cuya porosidad total supera el 50% en todos los horizontes, poseen una importante reserva de agua útil dada por la característica arcillosa del horizonte B (González, et al. 2013). Las muestras se acercaron al laboratorio de Suelo, Agua y Vegetales de la Estación Experimental San Pedro con el objetivo de realizar los correspondientes análisis químicos. Los parámetros evaluados en laboratorio fueron: pH por potenciometría, conductividad eléctrica (CE) por conductimetría, calcio y magnesio por espectrometría de absorción atómica, sodio y potasio por espectrometría de emisión atómica, sulfatos por turbidimetría, carbonatos y bicarbonatos por acidimetría y cloruros por argentimetría. La exactitud de los valores analíticos se verificó de acuerdo al método de balance iónico, se aceptó un valor máximo de error del 10%. Posteriormente con los parámetros químicos obtenidos en el laboratorio se estimaron los siguientes índices: sólidos totales disueltos (TDS) (Sainato et al., 2006), relación adsorción de sodio (RAS) (Richards, 1954), carbonato de sodio residual (CSR) (Eaton, 1950) y RAS corregido (Suárez, 1981). Mediante la utilización del software estadístico InfoStat (Di Rienzo, et al., 2011) se obtuvo la estadística descriptiva del conjunto de datos. Para conocer el carácter químico dominante de las aguas se utilizó el diagrama propuesto por Piper (1944) y con el propósito de definir la calidad del agua con fines agronómicos se propuso clasificar el recurso de acuerdo a tres metodologías existentes. Teniendo en cuenta que como todos los métodos que establecen límites numéricos rigurosos, deberían tomarse en un sentido orientativo y considerarse como indicadores de tendencias esperables (Génova, 2011). Dos de los métodos son ampliamente conocidos: Laboratorio de Salinidad USDA (Richards, 1954) y FAO (Ayers y Westcot, 1985); el otro método usado es el propuesto por el INTA (Proy. IPG-INTA, 1998), que clasifica el recurso en condiciones de clima

húmedo y sub-húmedo para riego complementario en cultivos extensivos. Los gráficos utilizados para las clasificaciones fueron hechos con el software Diagrammes (Simler, 2005) y Excel 2010.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Composición y clasificación química del agua*

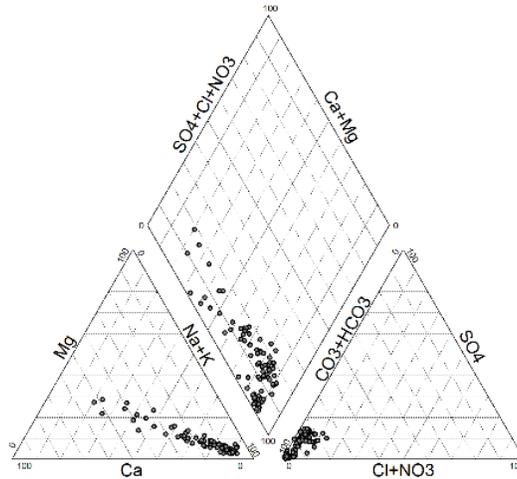
En la tabla 1 se muestran los resultados de la estadística descriptiva realizada para los parámetros químicos evaluados.

**Tabla 1.-** Parámetros medidos en el agua subterránea de 81 pozos partidos de San Nicolás, Ramallo, San Pedro, Baradero y Zárate, provincia de Buenos Aires.

| Variable            | Unidad                                  | Promedio | Desvío | Mínimo | Máximo |
|---------------------|---|----------|--------|--------|--------|
| <b>pH</b>           | -                                       | 7,63     | 0,39   | 6,91   | 9,36   |
| <b>CE</b>           | [dS.m <sup>-1</sup> ]                   | 0,85     | 0,15   | 0,51   | 1,36   |
| <b>TDS</b>          | [mg.L <sup>-1</sup> ]                   | 540      | 100    | 330    | 870    |
| <b>Calcio</b>       | [me.L <sup>-1</sup> ]                   | 1,55     | 1,07   | 0,40   | 5,70   |
|                     | [mg.L <sup>-1</sup> ]                   | 31,0     | 21,4   | 8,0    | 114,2  |
| <b>Magnesio</b>     | [me.L <sup>-1</sup> ]                   | 0,82     | 0,55   | 0,20   | 2,74   |
|                     | [mg.L <sup>-1</sup> ]                   | 10,0     | 6,7    | 2,4    | 33,3   |
| <b>Sodio</b>        | [me.L <sup>-1</sup> ]                   | 7,01     | 2,27   | 1,60   | 12,90  |
|                     | [mg.L <sup>-1</sup> ]                   | 161,3    | 52,2   | 36,8   | 296,7  |
| <b>Potasio</b>      | [me.L <sup>-1</sup> ]                   | 0,10     | 0,12   | 0,02   | 0,51   |
|                     | [mg.L <sup>-1</sup> ]                   | 3,8      | 4,6    | 0,8    | 19,9   |
| <b>Cloruros</b>     | [me.L <sup>-1</sup> ]                   | 0,40     | 0,34   | 0,02   | 1,90   |
|                     | [mg.L <sup>-1</sup> ]                   | 14,0     | 12,0   | 0,7    | 67,4   |
| <b>Sulfatos</b>     | [me.L <sup>-1</sup> ]                   | 0,76     | 0,48   | 0,02   | 1,90   |
|                     | [mg.L <sup>-1</sup> ]                   | 36,6     | 22,9   | 1,0    | 91,3   |
| <b>Carbonatos</b>   | [me.L <sup>-1</sup> ]                   | 0,02     | 0,10   | 0,00   | 0,90   |
|                     | [mg.L <sup>-1</sup> ]                   | 0,5      | 3,1    | 0,0    | 27,0   |
| <b>Bicarbonatos</b> | [me.L <sup>-1</sup> ]                   | 8,44     | 0,88   | 7,00   | 11,80  |
|                     | [mg.L <sup>-1</sup> ]                   | 514,9    | 53,6   | 427,1  | 719,9  |
| <b>Dureza</b>       | [CaCO <sub>3</sub> mg.L <sup>-1</sup> ] | 119,1    | 79,8   | 38,2   | 407,0  |

Entre los cationes, el más abundante es el sodio, seguido por el calcio y el magnesio. En el caso de los aniones, el más abundante es el bicarbonato, seguido por el sulfato. Numerosos autores, entre ellos

Ceci (1969), Sala (1975), Hernández et al. (1975), Auge y Hernández (1983), Santa Cruz (1986), Castiglione y Cejas (1996), González y Hernández (1997), Auge et al. (2002) y Hernández (2005) reportan que el agua subterránea presenta distintos grados de mineralización, con preponderancia hidrogeoquímica de aguas bicarbonatadas sódicas. Para determinar el carácter químico dominante del agua se utilizó el diagrama propuesto por Piper (1944). En él, se representan las concentraciones relativas de los iones (Figura 1).

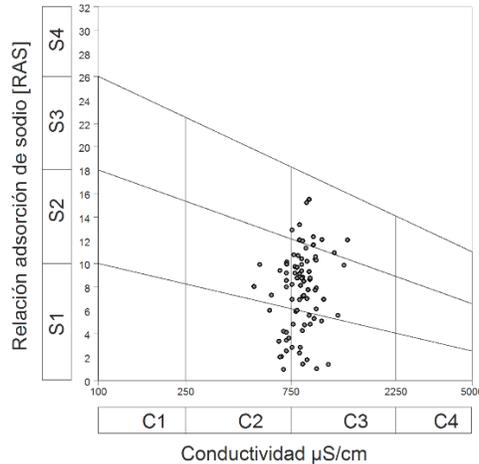


**Figura 1.-** Representación gráfica del diagrama de Piper (1944) utilizado para determinar el carácter químico dominante del agua subterránea muestreada en los partidos de San Nicolás, Ramallo, San Pedro, Baradero y Zárate, provincia de Buenos Aires.

Del análisis de los datos surge que el 87,7% de las muestras pertenecen a la categoría bicarbonatadas sódicas, mientras que el 12,3% pertenecen a las bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.

*Clasificación de aguas para riego, según metodología del Laboratorio de Salinidad USDA (Richards, 1954).*

Esta clasificación está basada en los conceptos de peligrosidad de sodificación y de salinidad. Para ambos parámetros, sodicidad (S) medido como RAS y conductividad (C) se establecen cuatro categorías, 1-bajo, 2-medio, 3-alto y 4-muy alto. Estas categorías se representan en un diagrama generando un total de 16 subcategorías (Figura 2). En este caso, el 43,2% de las aguas muestreadas son C3-S2, agua altamente salina y de sodicidad media, el 19,8% es C3-S1, agua altamente salina y sodicidad baja, el 13,6% es C3-S3, agua altamente salina y sodicidad elevada, el 11,1% es C2-S1, agua de salinidad media y sodicidad baja y el 12,3% es C2-S3, agua de salinidad media y sodicidad elevada.



**Figura 2.-** Diagrama de clasificación de agua propuesto por el Laboratorio de Salinidad USDA, para las 81 muestras de agua subterránea extraídas en los partidos de San Nicolás, Ramallo, San Pedro, Baradero y Zárate, provincia de Buenos Aires.

En esta clasificación el efecto de la concentración de iones bicarbonatos se evalúa mediante el uso del índice CSR (carbonato de sodio residual) propuesto por Eaton (1950). En aguas con altos contenidos de bicarbonatos, a medida que la solución del suelo se concentra, el calcio y el magnesio tienen la tendencia a precipitarse en forma de carbonatos, aumentando así la concentración relativa de sodio. Este índice cuantifica el riesgo de sodificación de los suelos, CSR con valores negativos indican que no existe problema alguno, mientras que valores positivos indican que el calcio y el magnesio se han precipitado como carbonatos y han quedado en solución sales de sodio que favorecen la defloculación del suelo. También, existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio y se precipite, pero debido a su alta solubilidad, este permanece en la solución del suelo aún después que se han precipitado las primeras sales en forma de carbonato de calcio y de magnesio favoreciendo la defloculación del suelo. Según Richards (1954) aguas que contienen un CSR menor a  $1,25 \text{ me.L}^{-1}$  son adecuadas para riego, las que oscilan entre  $1,25 \text{ me.L}^{-1}$  y  $2,5 \text{ me.L}^{-1}$  son marginales y aquellas que presentan valores mayores a  $2,5 \text{ me.L}^{-1}$  no son apropiadas. El 96,3% de las muestras analizadas se clasificaron como no apropiadas, el 1,2% como marginales y sólo un 2,5% como apropiadas para el riego. Aunque esta guía es muy utilizada dada su practicidad y sencillez, es necesario mencionar que la misma se basa en criterios establecidos para zonas áridas y semiáridas de EE.UU., en donde la evapotranspiración (ETP) es elevada (Sainato et al. 2006) y asume trabajar en condiciones medias con respecto a la textura del suelo, la velocidad de infiltración, el drenaje, la cantidad de agua usada, el clima y la tolerancia del cultivo a las sales. La ambigüedad en la expresión “condiciones medias” (Richards, 1954) dificulta la interpretación para la zona en estudio, esto debe ser tenido en cuenta dado que desviaciones considerables de los valores medios de cualquiera de estas variables podrían

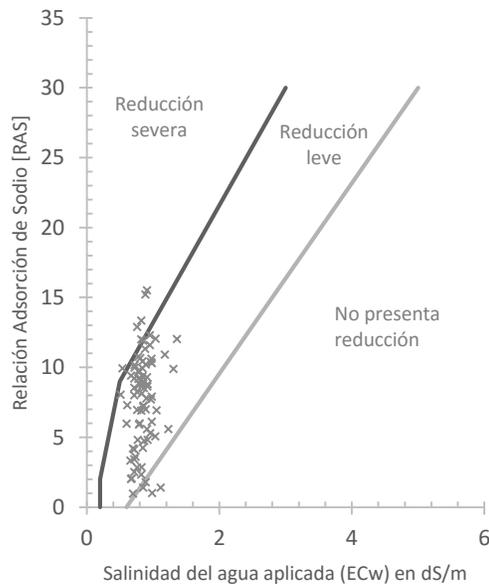
hacer inseguro utilizar aguas que en condiciones medias serían de muy buena calidad (Richards, 1954). Olías *et al.* (2005) hacen referencia al error conceptual existente en la variación del riesgo de sodificación en función de la salinidad del agua, e indica que las diagonales descendentes que definen las clases de riesgo de sodificación deberían ser ascendentes al aumentar la conductividad. Génova (2011), Marano *et al.* (2000) y Costa (1999) indican que esta metodología carece de valor en las regiones húmedas, y pierde su efectividad para pronosticar la peligrosidad de salinización y sodificación de los suelos bajo riego. Génova (2011) menciona que no se debe perder de vista que las recomendaciones que esta metodología propone fueron hechas en base a los conocimientos disponibles a mediados del siglo XX sobre la fisiología vegetal y relacionados con los rendimientos relativos de los cultivos, asociados a grados de tolerancia salina; y que la propuesta de cálculo para los requerimientos de lixiviación como procedimiento para el control de salinidad, no aplican a los casos de riego complementario, dado que en estos casos las sales suministradas en el riego suelen ser lixiviadas por el exceso de precipitaciones.

#### *Clasificación de Aguas para Riego según metodología de FAO (Ayers y Westcot, 1985):*

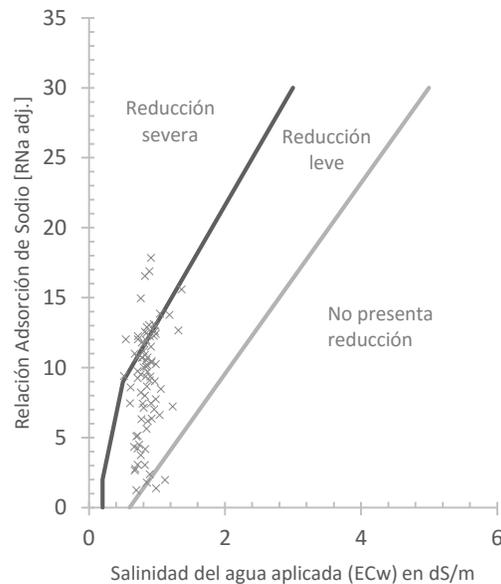
Esta clasificación, al igual que la anteriormente descrita establece lineamientos para la evaluación de la calidad agronómica del agua. Estos lineamientos se basan en directrices que se aplican a situaciones particulares, teniendo en cuenta la CE o el total de sólidos disueltos para evaluar la salinidad, la RAS y la CE para la infiltración; y las concentraciones de sodio, cloro y boro para toxicidad. Las hipótesis implícitas en las directrices asumen que la textura del suelo se encuentra entre limo arenoso y limo arcilloso y posee buen drenaje interno. El clima está entre semiárido y árido; la precipitación efectiva es muy baja y los riegos empleados son riegos de superficie y aspersion. El patrón de absorción de agua por los cultivos es 40-30-20-10% y el requisito de lixiviación es del 15% (Ayers y Westcot, 1985). Para el cálculo de la RAS no se recomienda la utilización de la RAS adj., debido a que este sobreestima la peligrosidad de sodificación de un suelo (Oster y Rhoades, 1977; Oster y Schroer, 1979; Suárez, 1981). En el caso que la RAS adj. hubiera sido utilizada para evaluar el peligro de sodicidad, el mismo deberá ser afectado por el factor 0,5 (RAS adj. x 0,5), con este ajuste se logrará evaluar de forma más correcta el efecto del bicarbonato sobre el calcio (Ayers y Westcot, 1985) o en su defecto se deberá utilizar la RAS original. Suárez (1981), propone utilizar la RNA adj., este índice considera la precipitación del calcio por los iones bicarbonatos. Para su cálculo, se sustituye el valor del calcio obtenido en el análisis de laboratorio por el valor del calcio corregido. Este valor de calcio corregido está afectado por la salinidad del agua, el contenido de iones bicarbonato en relación a su propio contenido de calcio (Ratio  $\text{HCO}_3/\text{Ca}$ ) y por la presión parcial estimada de dióxido de carbono en los primeros milímetros del suelo (Andriulo, 1999). Los valores

de calcio ajustado representan la concentración final del calcio que permanecería en la solución del suelo, luego de aplicar un agua de una determinada salinidad y un contenido relativo de bicarbonatos en relación al calcio. En la figura 3 se grafica el efecto de la RAS y la salinidad sobre la tasa de infiltración de un suelo, la gráfica fue realizada con los valores de la RAS original (Figura 3A) y con la RNA adj. (Figura 3B) propuesto por Suárez (1981).

A.



B.



**Figura 3.-** A. Efecto de la RAS original y la Salinidad, sobre la tasa de infiltración de un suelo. B. Efecto de la RNA adj. (Suárez, 1981) y la Salinidad sobre la tasa de infiltración de un suelo. Adaptado de Ayers y Westcot, (1985). Parámetros medidos en el agua subterránea de 81 pozos en los partidos San Nicolás, Ramallo, San Pedro, Baradero y Zárate, provincia de Buenos Aires.

Los resultados obtenidos al graficar la RAS original en función de la CE indican que el 88% de las muestras presentarían una reducción leve a moderada de la infiltración, mientras que sólo un 7% presentaría una reducción severa y un 5% no presentaría problemas en cuanto a la reducción de la infiltración. Si a los mismos datos se los evalúa de acuerdo a la RAS propuesta por Suárez (1981) los resultados indican que el 78% de las muestras presentarían una reducción leve a moderada de la infiltración, un 20% presentarían una reducción severa y sólo un 2% no tendría problemas asociados a la infiltración. En lo que respecta a salinidad el 90,1% de las muestras se asocian a problemas leves a moderados, en cuanto a la toxicidad por sodio el 46,9% provocarían inconvenientes leves a moderados en riego por superficie y un 95,7% en riego por aspersión. Según Andriulo (1999) esta clasificación es menos restrictiva con respecto a la propuesta por Richards (1954) en cuanto al contenido salino, e incorpora el concepto de interacción RAS y CE para evaluar el peligro de

sodicidad, aunque no considera las condiciones climáticas húmedas de la región Pampeana y sus efectos en la modalidad de riego complementario (Génova, 2011).

*Clasificación de Aguas para Riego, según metodología del INTA (Proy. IPG-INTA, 1998):*

Esta clasificación surge de la ausencia de un método de valoración de la aptitud agrícola del agua de riego en la Pampa Húmeda que permita inferir la posible degradación de los suelos por su uso. Si bien fue propuesta hace muchos años, todavía se la considera como metodología preliminar, incluye conceptos de las relaciones salinas y sódicas de aguas y suelos regados, y ajusta los datos teóricos con datos de campo para suelos de la región Pampeana bajo riego complementario con énfasis en cultivos extensivos (Génova, 2011). Los cultivos incluidos son: Maíz, Trigo, Soja y Girasol; por lo tanto nada dice de los cultivos intensivos. En cuanto a salinidad, las aguas se clasifican en tres categorías, Aguas seguras (CE hasta  $2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), Aguas de aptitud dudosa (CE de 2 a  $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) y Aguas no recomendadas para riego (CE mayores a  $4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Las recomendaciones de uso para Sodicidad se realizan teniendo en cuenta las características edafoclimáticas de distintas zonas, en este caso se utiliza la clasificación propuesta para zona norte de la Provincia de Buenos Aires, sudeste de Sta. Fe y sudoeste de Entre Ríos. Ésta, se aplica a Suelos Argiudoles con alto contenido de MO = 2,5 a 3%, contenido de arcilla en horizonte A= 22 a 24% y se considera un riego total promedio de 150 a 200 mm por año (Proy. IPG-INTA, 1998). González, et al. (2013) clasifica los suelos de la región y determina que los mismos pertenecen al orden Molisol, gran grupo Argiudol y sub grupo Vértico, los describe como ricos en materiales finos (arcillas y limos) cuya porosidad total supera el 50% en todos los horizontes poseedores de una importante reserva de agua útil dada por la característica arcillosa del horizonte B. Para la evaluación de la peligrosidad de sodificación, las aguas se clasifican en tres categorías, Aguas aceptables (RAS hasta 10), Aguas de calidad dudosa (RAS de 10 a 15) y Aguas riesgosas (RAS mayor a 15) (Proy. IPG-INTA, 1998). Según esta clasificación el 100% de las muestras son seguras en cuanto a la salinidad, para sodicidad el 75% de las muestras se clasifican como aceptables, el 22% dudosas y el 2% riesgosas.

## CONCLUSIONES

- La composición iónica de las aguas muestreadas dentro del área de influencia de la Estación Experimental San Pedro son en su mayoría bicarbonatadas sódicas, teniendo en cuenta que sólo han sido muestreados un total de 81 pozos, es necesario aclarar que esta clasificación no pretende ser la representativa de todo el acuífero Puelche, sino tan sólo de las consideradas en el presente trabajo.

- La clasificación propuesta por el Laboratorio de Salinidad de USDA (Richards, 1954) al igual que la clasificación propuesta por FAO (Ayers y Westcot, 1985) para determinar la calidad del agua de riego no se condicen con las condiciones climáticas del área en estudio, al igual que el tipo de suelos para las que clasificaciones fueron originalmente realizadas, por ende pierden efectividad para pronosticar la peligrosidad de salinización y sodificación, sobre todo cuando se trata de cultivos intensivos a campo (frutales, hortícolas y plantas de vivero) bajo riego complementario. Aunque teniendo en cuenta las limitaciones que cada una presenta es posible utilizarlas en un sentido orientativo de tendencias esperables en producciones intensivas bajo cubierta donde el único aporte del agua del es el suministrado por el riego.

- La clasificación propuesta por el Proy. IPG-INTA (1998) es específico para cultivos extensivos bajo riego complementario, además de otros factores tiene en cuenta el régimen de lluvias, láminas regadas y propiedades de los suelos en la región pampeana húmeda, aunque advierten que es necesario culminar con estudios del impacto de riego con aguas bicarbonatadas sódicas en los suelos vertisoles ubicados en las márgenes del río Paraná. Esta clasificación puede ser utilizada para evaluar los efectos del uso de agua subterránea en los cultivos extensivos que se realicen dentro del área bajo estudio, no así en cultivos intensivos a campo.

- Las tres metodologías clasificatorias tienen similitudes en cuanto a la salinidad, no así sobre el efecto del sodio en el suelo, las primeras dos son altamente restrictivas, mientras que la clasificación del Proy. IPG-INTA (1998) restringe menos cantidad de muestras para su uso dado que tiene en cuenta los mecanismos de recuperación del suelo dándole importancia al aporte del agua de lluvia y a la capacidad de intercambio catiónico en los equilibrios sódicos y salinos al tratarse de cultivos extensivos bajo riego complementario.

- Es necesario el monitoreo de la evolución de la sodicidad, alcalinidad, salinidad y productividad en producciones intensivas, ya sea bajo cubierta y/o a campo de suelos dentro del área de trabajo para generar información sobre problemas asociados a sodificación de los suelos por el uso de aguas bicarbonatadas sódicas. A su vez será necesario implementar pautas de manejo para la mejora de los mismos.

## AGRADECIMIENTOS

*A la Dra Nora Francescangeli, coordinadora del Proyecto Regional: Tecnología para el desarrollo de producciones intensivas: hortalizas, ornamentales, frutas y plantas de viveros (BANOR-710132), en cuyo marco se realizaron los muestreos y determinaciones de agua. A los profesionales de la Estación Experimental Agropecuaria San Pedro que tomaron protocolizadamente las muestras y a los productores que prestaron su conformidad. Especialmente a Karina del Pardo y Mirta Ciaponi que realizaron las determinaciones de rutina.*

## BIBLIOGRAFÍA

- Andriulo, A., 1999. Impacto ambiental del riego complementario. En: “Seminario de capacitación, Impacto ambiental del riego complementario”. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Pergamino 8 y 9 de septiembre de 1999.
- Auge, M. y Hernández, M., 1983. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la Llanura Bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de llanuras dilatadas. Actas del Coloquio de Olavarría. Vol. II Buenos Aires – París.
- Auge, M.P., Hernández, M.A. y Hernández, L., 2002. Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. En Groundwater and Human Development. XXXII IAH y ALHSUD. Ed. CD ROM. Mar del Plata.
- Auge, M.P., 2004. Regiones hidrogeológicas de la República Argentina y Provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea. En: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/RegionesHidrogeol.pdf> . Último acceso: junio 2016
- Ayers, R. y Westcot D., 1985. Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and drainage paper N°29 rev.1. Roma, Italia.
- Basan Nickisch, M., Gallo Mendoza, L., Rosas, D. y Zamar, S., 2011. Protocolo de muestreo, transporte y conservación de muestras de agua con fines múltiples (consume humano, abrevado animal y riego). Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/protocolo-de-muestreo-transporte-y-conservacion-de-muestras-de-agua-con-fines-multiples> Último acceso: julio 2016.
- Castiglione, M. y Cejas, J., 1996. Análisis de factores naturales para riego complementario de la zona Centro de Santa Fe. Ministerio de Agricultura de Santa Fe.

- Ceci, J., 1969. El agua subterránea del NE de Buenos Aires. CIC. La Plata.
- Costa, J., 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. Water use in crop production. pp. 85-99.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M. y Robledo C.W., 2011. (Versión 2011). InfoStat. [Software]. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- Eaton, F., 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. Soil Sci. 69: 123-133.
- Génova, L., 2011. Calidad del agua subterránea para riego complementario en la Pampa Húmeda Argentina. Rev. Facultad de Agronomía. Vol. 110 (2):63-81
- González, N. y Hernández, M., 1997. La práctica del riego y el desarrollo sustentable en los acuíferos del Noroeste bonaerense. Congreso Nacional sobre Aguas. UBA-AUGM-UNESCO, 1:55. Buenos Aires.
- González, J., Cruzate, A. y Panigatti, J., 2013. Suelos de la Costa NE del Río Paraná (prov. de Bs. As.). 1<sup>a</sup> Ed. San Pedro, Buenos Aires. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-suelos\\_de\\_la\\_costa\\_ne\\_del\\_ro\\_paran.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-suelos_de_la_costa_ne_del_ro_paran.pdf). Último acceso: junio 2016.
- Gómez, L. y Nakama V., 1991. Carta básica detallada de suelos de la Estación Experimental Agropecuaria San Pedro. 2da. Edición. Castelar, INTA. pp.15
- Hernández, M., 2005. Panorama ambiental de los recursos hídricos subterráneos en la Pcia. de Buenos Aires. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino. La Plata.
- Hernández, M., Fili, M., Auge, M. y Ceci, J., 1975. Geohidrología de los acuíferos profundos de la provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico Argentino. Actas II pp. 479-500. Buenos Aires.
- Marano, R., Pilatti, M. y Orellana, J., 2000. Efectos físico químicos de aguas bicarbonatadas sódicas sobre Argiudoles del Centro Este Santafesino. Actas del XVII Cong. Arg. Ciencia del Suelo. Com. IV N°41. Trab. Completo en CD-ROM. Mar del Plata.
- Olías, M., Cerón J. y Fernández I., 2005. Sobre la utilización de la clasificación de las aguas de riego del U.S. Laboratory Salinity (USLS). Geogaceta, 37, pp. 111-113. Disponible en:

<http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/8899/Sobre-Ia.pdf?sequence=2>. Último acceso: junio 2016.

- Oster, J. y Rhoades J., 1977. Various índices for evaluating the effective salinity and sodicity of irrigation waters. In: Proc. International Salinity Conference, Lubbock, Texas, 16-20 August 1976. pp. 1-14
- Oster, J. y Schroer, F., 1979. Infiltration as influenced by irrigation water quality. Soil Sci. 1979. Soc. Amer. J. 43:444-447.
- Piper, A., 1944. A graphic procedure in geochemical interpretation of water-analysis. Am. Geophysics. Union Trans, 25: pp. 914-923.
- Proy. IPG-INTA, 1998. Síntesis de discusión del taller sobre calidad de aguas para riego. Proy. IPG. Noviembre 9-10 de 1998. Pergamino.
- Richards, L., 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual N°60. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. México. pp. 78.
- Sainato, C., Galindo, G. y Heredia, O., 2006. Agua Subterránea. Exploración y utilización agropecuaria. 1 ed. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Sala, J., 1975. Recursos hídricos (especial mención de las aguas subterráneas). En relatorio Geológico de la provincia de Buenos Aires. VI Congreso Geológico argentino. Bahía Blanca.
- Santa Cruz, J., 1986. Estudio de factibilidad técnica, económica y financiera del riego complementario en la zona maicera típica de la Pcia. de Buenos Aires. Aguas subterráneas. Informe de avance. Convenio SAGYP-INTA-IICA. Buenos Aires.
- Simler, R., 2015. (Versión 6.5). Diagrammes. [Software]. Avignon, France: Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. Disponible en: <http://www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm> Último acceso: julio 2016.
- Suárez, D., 1981. Relation between pH and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil drainage waters. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:464-475.
- Zaneck, C., Delprino, M. R., Francescangeli, N. y Uviedo, R., 2015. Cincuenta años de estadísticas agroclimáticas en la Estación Experimental Agropecuaria INTA San Pedro (1965-2014). Ediciones INTA, 2015. ISBN 978-987-521-604-4.