

# Definición de la aptitud de agua para riego en un agroecosistema del Sur de la Provincia de Córdoba, Argentina

María Laura Gomez <sup>1</sup>

## RESUMEN

La creciente demanda de agua del acuífero libre para riego suplementario en la zona rural de Coronel Moldes, ha aumentado la necesidad de conocer su aptitud para tal uso. Según la clasificación de Riverside (*US Salinity Laboratory*) el agua del acuífero resultó mayormente "inapropiada" por altos valores de Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y salinidades. Según la clasificación de la FAO, el agua del acuífero fue de "sin restricción" a "restricción ligera o moderada", incluso en casos con un RAS > a 20 y altas salinidades. La introducción de sodio y otros cationes en la solución del suelo puede imponer un estrés en los cultivos, afectar la estructura del suelo, permeabilidad y las características químicas del agua subterránea. Es fundamental considerar estudios integrados edafo-climáticos que junto a la calidad del agua para riego, permitan definir prácticas de manejo sustentables.

## ABSTRACT

The demand of groundwater for irrigating use has been increasing in rural area of Coronel Moldes. The aim of this work was to evaluate its aptitude for irrigation use. Riverside classifications indicate that groundwater result "inappropriate" for irriga-

**Palabras clave:** Agua subterránea, aptitud para riego, pampa argentina, RAS.

**Key words:** Groundwater, irrigation water quality, Chacopampean plain, SAR.

Recibido: 17 de junio de 2009, aceptado: 24 de agosto de 2009

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (CONICET-IANIGLA), lgoomez@mendoza-conicet.gov.ar

tion, even for High Sodium-Adsorption ratio (SAR) and electrical conductivities values. FAO classifications indicate "no restrictions" or "slightly restrictions" even with SAR >20 and very high electrical conductivities values. It's very well the effect of soil salinisation and sodification risks for the use of inadequate irrigation water and partial studies. It is fundamental to consider integrated studies edafo-climatic and the water irrigation quality, that allow to define sustainability practices.

## INTRODUCCIÓN

El Sur de la provincia de Córdoba, Argentina, integra parte de la llamada llanura chaco-pampeana y posee una economía basada en las actividades agro-ganaderas. En la zona rural de Coronel Moldes (Figura 1) la agricultura y la ganadería son prácticas comunes desde hace más de 100 años y la presión sobre los recursos ha tenido un aumento exponencial en los últimos años. El mayor porcentaje del área es usada para el cultivo de soja, maíz y maní, representando el 80 % de todos los cultivos. El resto del área es ocupada por la ganadería y los cultivos de girasol y alfalfa.

Las condiciones climáticas, esto es, la ocurrencia de años con meses muy secos y pérdida hídrica, junto con las demandas del mercado nacional e internacional, han llevado a que muchos productores implementen el sistema de riego suplementario con equipos de aspersión, a partir del agua subterránea dado que es el único recurso hídrico disponible, incluso para el consumo humano.

El objetivo del estudio se basa en la clasificación del agua del acuífero libre para riego, según dos de las clasificaciones más usadas, Riverside

(Richards, 1954) y FAO (Ayers y Westcott, 1985), así como la comparación de los resultados obtenidos de cada método. Estas clasificaciones son las más utilizadas y difundidas en Argentina en el asesoramiento a productores tanto del ámbito privado como de los centros de investigación y servicios públicos.

Se intenta demostrar la limitación que puede ocurrir al definir la aptitud de aguas para riego únicamente desde las características químicas y cómo esto puede limitar una práctica eficiente y sustentable de los recursos. El estudio pretende aportar información necesaria en la tarea de clasificación de aptitudes de usos apropiados e integrales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo los objetivos se realizaron estudios meteorológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos del agua subterránea del acuífero libre en un área de 440 km<sup>2</sup> (Figura 1). Se determinaron análisis de texturales y de capacidad de intercambio catiónico a suelos y sedimentos de la zona.

El análisis físico-químico de las muestras de agua incluyó la determinación de pH, conductividad eléctrica y de componentes mayoritarios ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ).

El recurso hídrico subterráneo fue clasificado utilizando el conocido diagrama del Laboratorio de Salinidad de Riverside para riego definido por Richards (1954) y la clasificación de la FAO desarrollada por Ayers y Westcott (1985).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Localización del área y características generales:

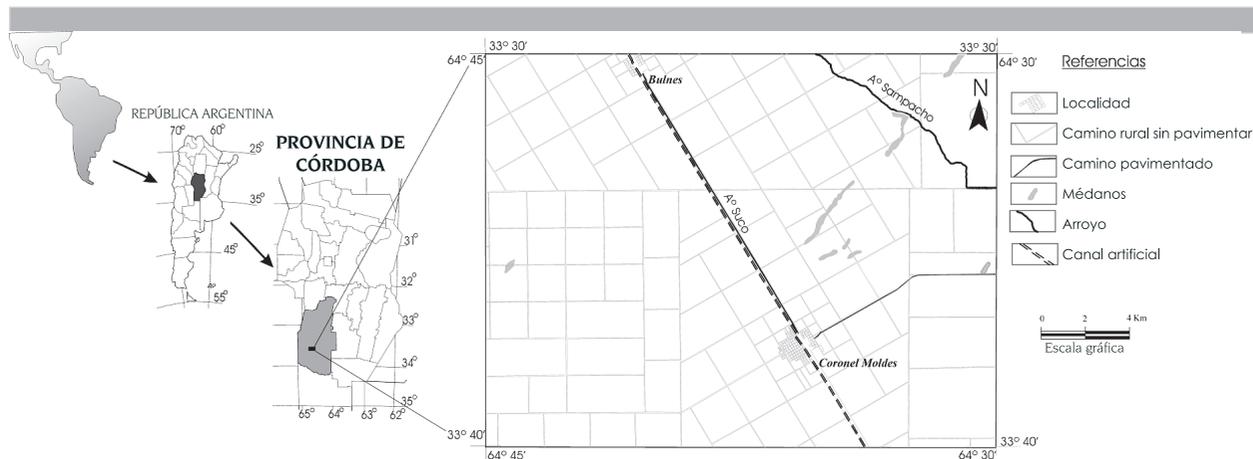
El área de estudio se localiza al Sur de la provincia de Córdoba, entre los 33° 30' y 33° 40' latitud Sur y 64° 30' y 64° 45' longitud Oeste (Figura 1). Abarca 440 km<sup>2</sup> y se eleva en promedio unos 400 m sobre el nivel del mar.

Según la clasificación de Thornthwaite (1948) el clima de la zona es del tipo Mesotermal (media de 16 °C) subhúmedo-húmedo con nula a pequeña deficiencia de agua. La precipitación media anual para una serie de 111 años (1896-2007) es de 831 mm y con una evapotranspiración real de 719 mm/año. Alrededor del 80% de las precipitaciones ocurren durante los meses de octubre y abril, marcando la clara estacionalidad del clima para esta zona. Durante el periodo más lluvioso la distribución de las precipitaciones es irregular ocurriendo meses de alta necesidad de agua, aunque los más importantes ocurren durante los meses de invierno, registrándose aquí los mayores déficits.

Estudios del INTA Manfredi (Gorgas y Tassile, 2003) señalan que los suelos de la zona rural de Coronel Moldes corresponden a Haplustoles údicos, Haplustoles típicos y Agiustoles. Estos suelos son franco arenosos, profundos (más de 100 cm), con moderada capacidad de intercambio de bueno a algo excesivamente drenados.

El acuífero libre está conformado por sedimentos arenosos finos-limosos de origen eólico, se extiende hasta los 45-60 m de profundidad y la profundidad del nivel freático varía entre los 2,6 y

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.



**Tabla 1.** Parámetros estadísticos de muestras extraídas del acuífero libre en la zona rural de Coronel Moldes.

| Parámetro                      | Unidad | Min   | Máx   | Promedio | Desv. Est. | Coef. Desv. |
|--------------------------------|--------|-------|-------|----------|------------|-------------|
| pH                             |        | 7.31  | 8.85  | 7.87     | 8.00       | 101.70      |
| Cond                           | uS/cm  | 994   | 3130  | 1985     | 484.77     | 24.42       |
| Temp                           | °C     | 12.5  | 23.7  | 20.45    | 2.22       | 10.86       |
| Na <sup>+</sup>                | mg/l   | 235   | 687   | 455      | 120.55     | 26.47       |
| K <sup>+</sup>                 | mg/l   | 5.7   | 18.0  | 10.2     | 2.5        | 24.10       |
| Ca <sup>+2</sup>               | mg/l   | 3.2   | 50.4  | 22.5     | 11.8       | 52.42       |
| Mg <sup>+2</sup>               | mg/l   | 3.9   | 62.9  | 15.1     | 10.1       | 66.73       |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> | mg/l   | 460.0 | 912.5 | 629.1    | 115.8      | 18.40       |
| CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>  | mg/l   | 0.0   | 46.1  | 4.9      | 10.7       | 213.83      |
| Cl <sup>-</sup>                | mg/l   | 28.6  | 368.6 | 152.6    | 80.4       | 52.68       |
| SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>  | mg/l   | 35.4  | 601.5 | 262.6    | 166.9      | 63.55       |

14 m. Es común la presencia de niveles entoscados (cementados con CaCO<sub>3</sub>) discontinuos y a diferentes profundidades.

La composición química del agua es predominantemente bicarbonatada sódica y bicarbonatada-sulfatada sódica, resultando, en general, aguas dulces con conductividad eléctrica (CE) menor a 3130 µS/cm (Tabla 1).

Todas las muestras analizadas (38) presentan como catión dominante al Na<sup>+</sup> (Tabla 1). La abundancia relativa de los cationes en el agua subterránea es Na<sup>+</sup> > Ca<sup>+2</sup> > Mg<sup>+2</sup> > K<sup>+</sup> y el Na<sup>+</sup> representa el 90% del total de éstos. El Ca<sup>+2</sup> y el Mg<sup>+2</sup> representan el 8% del total de los cationes y provienen del proceso de disolución de carbonatos junto con los procesos de meteorización de los silicatos (anfíboles, piroxenos y plagioclasas) integrantes del loess (Gómez, 2009). Junto a estos procesos se dan aquellos de intercambio con las arcillas, especialmente con la illita y montmorillonita (Ortolani, 2007). Ambos elementos, Ca<sup>+2</sup> y Mg<sup>+2</sup>, son capturados por las arcillas ricas en Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>, resultando en un aumento de Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> en el agua subterránea.

Los procesos de intercambio iónico son importantes para las plantas y el control hidroquímico del agua subterránea, por lo que su determinación fue necesaria. Dado que los procesos de intercambio afectan principalmente a los cationes es por ello que se habla de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Los valores de CIC para los sedimentos de esta zona resultaron entre 15,1 y 17,8 meq/100gr.

#### Aptitud para riego

Los criterios más importantes que definen la calidad de agua para riego y su asociación con el peligro potencial para los cultivos son salinidad,

sodicidad y toxicidad (Richards (1980), Suárez (1981), Pizarro (1985) y Ayers y Westcott (1985).

La salinidad determina los efectos de las sales en el crecimiento de los cultivos que son en su mayoría osmóticos y están relacionados a la concentración total de sales. La sodicidad está relacionada a la excesiva cantidad de sodio intercambiable en el suelo lo cual produce un deterioro de la permeabilidad y de la estructura del suelo, mientras que la toxicidad hace referencia a que algunos solutos tienen efecto tóxico directo sobre los cultivos.

La CE y el Na<sup>+</sup> son dos parámetros fundamentales que definen la aptitud del agua para riego. El alto contenido de sales en el agua de irrigación genera un aumento de la presión osmótica en la solución del suelo, disminuyendo la adsorción de agua por parte de las plantas. Las sales, además de afectar directamente el crecimiento de las plantas, afecta la estructura del suelo, su permeabilidad y estructura, afectando indirectamente el crecimiento de la planta (Douchafour, 1984).

El Na<sup>+</sup> en altas concentraciones en agua de riego genera una peligrosidad sódica dada por un aumento de este elemento en las posiciones de intercambio de las arcillas destruyendo la estructura del suelo, debido a la dispersión de las mismas (Douchafour, 1984). Como resultado, el suelo se vuelve relativamente impermeable y puede llegar a ser muy difícil su cultivo.

La clasificación de agua para riego de Richards (1954) considera la peligrosidad sódica y salina a partir del índice RAS y el valor de conductividad eléctrica (expresada en µS/cm) respectivamente. La peligrosidad sódica mide la relación de Na<sup>+</sup> respecto a la de Ca<sup>+2</sup> según la relación de

adsorción de sodio (*sodium-adsorption ratio*) o RAS (Relación de Adsorción de Sodio):

$$RAS = Na^+ \div [(Ca^{+2} + Mg^{+2}) \div 2]^{0.5}$$

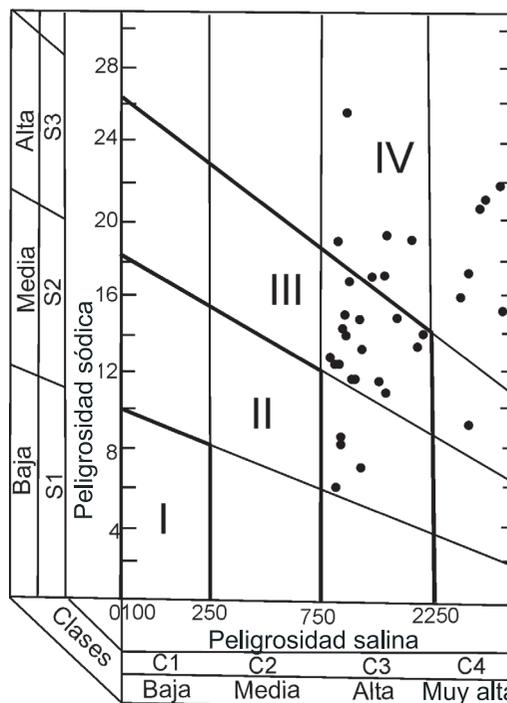
El diagrama que relaciona la salinidad y el RAS y define su aptitud para riego se presenta en la Figura 2.

El otro método desarrollado por Ayers y Westcott (1985) para la FAO también se basa en los valores de RAS y CE aunque con intervalos y categorías de clasificación diferentes (Tabla 2), permitiendo valores de RAS superiores en relación a la otra clasificación.

Según la clasificación de Riverside el agua subterránea de Coronel Moldes se ubica en los campos C3S2, C3S3, C4S4, C4S2, indicando calidades "Buena a Regular", esto sería, aptas pero con precauciones, y "Regular a Mala", esto es, inapropiada, dada por su media a alta peligrosidad salina y su media a alta peligrosidad sódica (Figura 2). Según esta clasificación, el alto contenido en sales y de sodio determina que dichas aguas no sean aptas para riego, siendo mayormente importante en suelos con drenaje limitado.

La clasificación de agua para riego según el laboratorio de Riverside se basa en criterios establecidos para zonas áridas y semiáridas de EE.UU. y es muy exigente para zonas más húmedas donde se aplica menos agua con riego complementario y si existe un exceso de agua, ésta lava las sales en caso de acumularse al usar agua con alto contenido en sales (Baccaro *et al.*, 2006). Aunque, según estos autores, las aguas de condición dudosa en cuanto a salinidad podrían usarse siempre que se realice un monitoreo anual de sales en la zona de las raíces. Por su parte, Báez (1999) sostiene que puede ocurrir que la presencia de las aguas sódicas presenten peligro potencial, por el hecho de que el lavado de suelo con agua de lluvia no es tan efectivo para desplazar al sodio como ocurre con las sales.

Otro parámetro que debe integrarse a la clasificac-



**Figura 2.** Diagrama para la clasificación del agua para riego (Laboratorio de Salinidad de EEUU). Agua subterránea acuífero libre Coronel Moldes. Clase I: Aptitud excelente. Clase 2: Aptitud buena. Clase 3: Aptitud buena a regular. Clase 4: Aptitud regular a mala.

ción es el del carbonato de sodio residual (CSR-tiene en cuenta los contenidos de carbonatos y bicarbonatos) dado que en los suelos, el agua puede precipitar o disolver carbonato de calcio agravando o disminuyendo con ello su peligrosidad por sodio (U.S. Salinity Laboratory, 1964, 1965; Báez, 1999, entre otros). Las aguas de la zona, principalmente, bicarbonatadas sódicas pueden producir la precipitación de carbonato de cal-

**Tabla 2.** Clasificación de las aguas según la salinidad (CE) y Relación de Adsorción de Sodio (RAS) del agua de riego (FAO, 1985).

|   | GRADO DE RESTRICCIÓN DE USO |                   |        |
|---|-----------------------------|-------------------|--------|
|   | Ninguno                     | Ligero o moderado | Severo |
| <b>Problema potencial: SALINIDAD</b>    |                             |                   |        |
| CE                                      | < 0,7                       | 0,7 - 3,0         | < 3,0  |
| <b>Problema potencial: INFILTRACIÓN</b> |                             |                   |        |
| RAS entre 0 y 3 y C. E.=                | > 0,7                       | 0,7 - 0,2         | < 0,2  |
| RAS entre 3 y 6 y C. E.=                | > 1,2                       | 1,2 - 0,3         | < 0,3  |
| RAS entre 6 y 12 y C. E.=               | > 1,9                       | 1,9 - 0,5         | < 0,5  |
| RAS entre 12 y 20 y C. E.=              | > 2,9                       | 2,9 - 1,3         | < 1,3  |
| RAS entre 20 y 40 y C. E.=              | > 5,0                       | 5,0 - 2,9         | < 2,9  |

cio, aumentando la concentración de sodio del suelo, con el riesgo de alterar su estructura y, consecuentemente, la permeabilidad del mismo.

Según Báez (1999) aún con valores relativamente bajos de sodio de intercambio pueden inducir a una dispersión con encostramiento superficial, principalmente, cuando ingresa al suelo agua de muy bajo contenido salino, como es el caso del agua de lluvia.

Las mismas muestras calificadas para riego según la FAO (Ayers y Westcott, 1985) (Tabla 2) resultaron en una clasificación entre "ninguna restricción" a "ligera o moderada" incluso en casos con un RAS > a 20 y altas salinidades. Para hacer una interpretación más amplia, deben señalarse los estudios realizados por el INTA Pergamino (2006) en la región pampeana, a partir del cual las clasificaciones de aguas para riego utilizadas en este estudio como único criterio, resultarían inadecuadas. Los estudios señalan que la aptitud del agua para suelos con las mismas características (con CIC entre 15 y 17 meq/100 gr franco limosos en superficie, materia orgánica = 1,5–2%) y las mencionadas condiciones climáticas, las aguas con RAS < 5 se consideran aceptables, con un RAS = 5 – 10 dudosas y para RAS > 10 de alto riesgo. Si se observa, contradictoriamente, según la clasificación de Riverside, estos valores de RAS se encuentran dentro de la categoría de "baja peligrosidad sódica". Por su parte, los estudios del INTA también señalan para estos suelos la dudosa aptitud de riego con aguas con CE > a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Si se observan ambas clasificaciones, para un mismo valor de CE (supóngase un promedio de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y un RAS promedio de 16 para el agua de la zona, según la clasificación del laboratorio de Riverside se consideraría inapropiada, mientras que según la FAO resultaría en un grado de restricción ligero a moderado. Debe considerarse que la introducción de sodio y otros cationes en la solución del suelo puede imponer un estrés en los cultivos disminuyendo sus rendimientos. Aunque, por otro lado, Baccaro *et al.* (2006) señalan que algunos cultivos pueden producir rendimientos aceptables a niveles de salinidad relativamente altos (hasta 6500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Si se observan los rangos de aptitud definidos en Riverside puede verse que ésta considera un agua excelente para riego para salinidades y RAS que, considerando estos intervalos en el cuadro de clasificación de la FAO, presentan una restricción

severa. A su vez, esta última no impone restricciones en aguas con CE > a 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y RAS entre 20 y 40. Además, debe tomarse en consideración que cada clasificación considera umbrales diferentes, vinculado esto al propósito y a las condiciones climáticas bajo las cuales fueron definidas.

Con lo anteriormente expuesto, queda claro que la definición de aptitud de agua para riego basada únicamente en clasificaciones según las características químicas resultan en una mirada parcial y limitada de las aptitudes y necesidades del sistema suelo-planta.

En ésta parte del país se ha vuelto una práctica común en la asesoría a productores, tanto desde ámbitos privados como públicos, el definir aptitudes del agua para riego a partir de una mirada exclusiva desde las características químicas sin que éstas sean integradas al complejo sistema suelo-planta-agua.

Estudios de Vázquez *et al.* (2006) sobre la sustentabilidad del riego en suelos de otras partes de la pampa argentina indican que los procesos de salinización/sodicidad encontrados en algunos sitios dependen de las características propias de cada agroecosistema y que las clasificaciones de aptitud de agua no reflejan estos procesos.

Los estudios demuestran que es necesario conocer las características edafo-climáticas de la zona junto a la calidad del agua para riego a fin de poder definir la aptitud de un agua y asegurar prácticas de manejo sustentables en condiciones tales que el aumento en la demanda nacional e internacional de productos alimentarios generan una mayor presión sobre los recursos naturales.

## CONCLUSIONES

En el manejo de los sistemas agropecuarios, y la definición de prácticas suplementarias de riego, requiere además de los estudios propios del agua (su cantidad y calidad), de un análisis integrado de las características edafo-climáticas, que no sólo se base a los requerimientos hídricos de una región, sino en las necesidades edáficas y fisiológicas existentes.

Las clasificaciones empleadas reflejan límites de aptitud diferentes pudiendo provocar problemas de salinidad y sodicidad en el recurso suelo cuando la definición de su aptitud se

basa únicamente en las características físico-químicas del agua. La disparidad en las clasificaciones de Riverside y FAO, es originada por las condiciones edafo-climáticas para las cuales fueron desarrollados dichos criterios y pone en evidencia la invalidez de su extrapolación, sin ajustes locales (Vázquez *et al.*, 2006) debiendo incluirse estudios vinculados a las características texturales, climáticas y fisiológicas del cultivo.

Un conocimiento acabado de los factores que intervienen en la práctica del riego suplementa-

rio, permitirá brindar recomendaciones prácticas por parte de quienes trabajan en el manejo de los recursos y promueven la agricultura en un marco de desarrollo sustentable.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por subsidiar la investigación.

### REFERENCIAS

- AYERS, R.S. Y WESTCOTT, D.W. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev.1, Roma, 174 pp., 1985.
- BACCARO, K. *et al.*, Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata. *RIA*, 35 (3): 95-110, 2006.
- BÁEZ, A. *Efecto de la calidad del agua de riego sobre las propiedades del suelo*. INTA Balcarce. 53 pp., 1999.
- DOUCHAFOUR, P. *Edafogénesis y clasificación*. Barcelona: Masson, 450 pp., 1984.
- FAO. *Water quality for agriculture, irrigation and drainage*. Technical paper N° 29. Rome, Italy, 1985.
- GOMEZ, M. L. "Modelado geoquímico de contaminantes procedentes de efluentes urbanos e industriales en el acuífero clástico del área de Cnel Moldes, Córdoba". Universidad Nacional de Río Cuarto. Tesis de Doctorado, 290 pp., 2009.
- GORGAS, J. A. Y J. L. TASSILE. *Recursos naturales de la provincia de Córdoba: Los Suelos*. INTA Manfredi, 150 pp., 2003.
- ORTOLANI, C. *Estratigrafía del Cuaternario del tramo medio del arroyo Achiras del Gato, Cba*. UNRC, 94 pp., 2007.
- PIZARRO, F. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Agrícola Española, S.A., 542 pp., 1985.
- RICHARDS, L.A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agricultural Handbook 60, 160 pp., 1954.
- SUÁREZ, D.L. Relation ship between pH. and SAR and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage water. *Soil Science Society American Journal* 45: 469 – 475, 1981.
- THORNTHWAITE, A. *An approach towards a rational classification of climate*. *Geographic Review* 38 (1), 221-229, 1948.
- VÁZQUEZ, M.; G. MILLÁN y P. GELATI. Efecto del riego complementario sobre la salinidad y sodicidad de diferentes suelos del NO y Centro-E de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 57-67, 2006.

### DICTIOTOPOGRAFÍA

- [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar). 2006.