

Aptitud química del agua subterránea para el riego agrícola en el valle del Tulum, San Juan, Argentina

Silvia Mérida y José Urnicia

Instituto Nacional del Agua - Centro Regional de Agua Subterránea.

Universidad Nacional de San Juan.

E:mail: meridasilvia@yahoo.com.ar; jjurnicia@gmail.com

RESUMEN

La calidad del agua es esencial para la producción exitosa de cultivos, esta afecta tanto a los rendimientos de los mismos como a las características físicas del suelo, incluso si todas las demás condiciones y prácticas de producción son favorables.

En este trabajo, se discuten las propiedades físicas y químicas de las captaciones de agua subterránea ubicadas en el Valle del Tulum, teniendo como objetivo principal el determinar la conveniencia o limitaciones de estas aguas que se pretende usar para riego agrícola.

El trabajo se basó en los resultados de los análisis de agua realizados por el Instituto Nacional del Agua en perforaciones distribuidas en todo el valle, que permitieron confeccionar una serie de mapas temáticos con el contenido observado de iones principales y metales trazas disueltos; que fueron cotejados con mapas de superficies cultivadas por tipo de cultivo y de estructura del suelo.

Los resultados obtenidos permitieron visualizar rápidamente la variación espacial de la mineralización del agua en el acuífero y la delimitación de zonas: con las mejores características químicas para el riego utilizando estas fuentes y aquellas en las que los valores de tolerancia son superados para los cultivos existentes. Esto puede traducirse en un futuro en una disminución de la permeabilidad y productividad de los suelos debido al intercambio de bases por el exceso de sodicidad en las aguas de riego.

Palabras clave: boro, salinidad, calidad del agua

ABSTRACT

Water quality is essential for successful crop production, this affects both yield the same as the physical characteristics of the soil, even if all other conditions and production practices are favorable.

In this paper, the physical and chemical properties of groundwater catchments located in the Tulum Valley, with the main objective to determine whether or limitations of these waters intended to be used for agricultural irrigation are discussed.

The work was based on the results of the water analysis conducted by the National Water Institute perforations distributed throughout the valley, which allowed make a series of thematic maps with the observed content of dissolved metals major and trace ions; which they were cross-checked with maps of cultivated areas by type of crop and soil structure.

The results allowed us to quickly visualize the spatial variation of the mineralization of water in the aquifer and the delimitation of areas with the best chemical characteristics for irrigation using these

sources and those in which the tolerance values are exceeded for existing crops. This can result in a future decrease in permeability and soil productivity due to base exchange by excess sodicity in irrigation water.

Keywords: boron, salinity, water quality

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La provincia de San Juan se encuentra ubicada en la zona árida y semiárida del país por lo que, desde el punto de vista social y económico, posee una elevada dependencia hacia los recursos hídricos que hace indispensable su preservación tanto en cantidad como en calidad.

En el Valle de Tulum, principal oasis de la provincia, se encuentran censadas un total de 6682 perforaciones, de las cuales el 63,5% están destinadas para riego, según la base de datos proporcionada por el Instituto Nacional del Agua. Para establecer su aptitud en este tipo de uso se controla la calidad del agua extraída, determinando la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga.

Teniendo presente que el empleo de agua salina para riego altera las condiciones del suelo, afectando por ende el crecimiento y productividad de las plantas, para hacer un uso inteligente de tales aguas se entiende entonces como necesario, un conocimiento adecuado del sistema suelo-agua-planta.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la aptitud o limitaciones de estas aguas que se pretende usar para riego agrícola basándose en los resultados de análisis químicos realizados en aguas provenientes de perforaciones distribuidas en todo el valle, contrastando dicha información con el tipo de suelo y cultivo implantado.

Sustentado por lo expresado por Richards (1974), se define la calidad del agua para riego teniendo en cuenta las siguientes características:

- a) La concentración total de sales solubles
- b) La concentración relativa del sodio con respecto a otros cationes
- c) La concentración de boro
- d) La concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio y magnesio.

En la mayoría de los cultivos el crecimiento de las plantas está íntimamente relacionado con la succión osmótica en el medio en que crecen las raíces, exhibiendo sensibilidades diferentes según las especies e incluso las variedades. Además el aumento de la succión osmótica de la solución de los suelos está relacionado con el retraso del crecimiento de los cultivos, y en muchos casos es independiente de la clase de sales que se presentan. (Avellaneda, 2004)

METODOLOGIA

Como información base se tomaron los análisis químicos realizados por el Instituto Nacional del Agua – Centro Regional de Aguas Subterráneas, durante los años 1997/98 sobre un total de 91 perforaciones.

Para determinar la superficie cultivada por tipo de cultivo se digitalizaron estas entidades sobre una imagen satelital GeoEye de Google Earth del mismo periodo en estudio. Validando el trazado con los planos del Departamento Hidráulica (DH) e información verbal proporcionada por el Inspector de Riego. Las áreas se clasificaron por cultivos en: Vid (incluyendo otros frutales), Olivo y Hortalizas, no incluyéndose en el trazado las parcelas con Rastrojo (parcelas que fueron cultivadas anteriormente y luego se dejaron de cultivar) ni las Incultas (terreno virgen).

El mapa de suelos se obtuvo del Atlas Socioeconómico de la provincia de San Juan realizado por la Universidad Nacional de San Juan, basados en planos y estudios realizados por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Para elaborar las curvas de igual concentración se localizaron espacialmente las perforaciones y se trazaron para cada parámetro las isolíneas utilizando un software de modelado.

CONCENTRACIÓN TOTAL DE SALES SOLUBLES E INCREMENTO SALINO

Las sales disueltas en el agua de riego desarrollan succión osmótica y al incorporarse al suelo disminuyen su potencial hídrico, conociéndose esta situación como Peligrosidad Salina. Diversos autores, entre ellos la FAO (Ayers et all 1976), consideran que un parámetro razonable para la medición de la Peligrosidad Salina es la Conductividad Eléctrica (CE), estableciendo según el valor de esta última categoría de aptitud de uso del agua de riego.

A fin de diagnosticar la concentración total de sales solubles se tomó la clasificación de Riverside modificada por Thorne y Peterson (Avellaneda, 2004), que establece seis categorías de acuerdo al valor de la CE, y que puede apreciarse en la Tabla N°1, con las que se dibujaron las isoclinas.

Tabla 1. Clasificación de la Peligrosidad Salina de Riverside modificada por Thorne y Peterson

CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)	Categoría	Salinidad
Hasta 250	1	Baja
250 a 750	2	Moderada
750 a 2250	3	Mediana
2250 a 4000	4	Alta
4000 a 6000	5	Muy alta
Mayor a 6000	6	Excesiva

Para determinar el incremento salino se calculó la concentración salina del agua de riego como se muestra en la ecuación (1):

$$CSalina = CE \times 64 \times 0.01 \times 10^{-3} \quad (1)$$

Donde CE se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y CSalina (concentración salina) en Kg/m³.

Luego, la cantidad de sales por hectárea y por año se obtuvo, con la ecuación (2), como:

$$Sales = CSalina \times NNR \quad (2)$$

Donde NNR (necesidad neta de riego) se expresa en m³/ha año y se obtuvo para cada tipo de cultivo aplicando el método Blaney – Criddle, Fuentes(1999), teniendo como base los datos meteorológicos del Servicio Meteorológico Nacional, estación Aero San Juan.

Finalmente el incremento se calculó como se muestra en la ecuación (3):

$$IS = \frac{Sales}{Peso\ suelo\ por\ hectárea} \times 100 \quad (3)$$

Resultando el Peso del suelo por hectárea el valor de multiplicar la superficie de una hectárea (10.000m²), por la profundidad del suelo considerada según tipo de cultivo y la densidad aparente, ecuación (4).

$$Peso\ suelo\ por\ hectárea = Densidad\ aparente\ del\ suelo \times profundidad \times Superficie \quad (4)$$

La profundidad de suelo se tomó de la tabla elaborada por Fuentes et al (1999), considerando 0,9 metros para la vid, 1,1 metros para el olivo y 1,0 metros para las pasturas y hortaliza.

La densidad aparente del suelo, se obtuvo según la textura, siendo para: arcilla 1,25 g/cm³, arcilla limosa 1,21 g/cm³, franco arcillo limoso 1,27 g/cm³, franco arcilloso 1,30 g/cm³, arcilla arenosa 1,34 g/cm³, franco limoso 1,38 g/cm³; marga 1,43 g/cm³; arcilla arenosa 1,40 g/cm³; marga arenosa 1,51 g/cm³; arena arcillosa 1,63 g/cm³; arena 1,69 g/cm³.

Partiendo del supuesto que los suelos están libres de sales y que se considera salinos a aquellos con más de un 2‰ de sales (límite de sales), el tiempo en el cual se estará en el límite de tolerancia de salinidad se calculó con la ecuación (5) como:

$$Tiempo = \frac{Limite\ de\ sales}{IS} \quad (5)$$

CONCENTRACIÓN RELATIVA DEL SODIO CON RESPECTO A OTROS CATIONES

Los constituyentes inorgánicos solubles de las aguas de riego reaccionan con los suelos de forma iónica. El peligro de sodificación queda determinado por la concentración absoluta y relativa de los cationes. Si la proporción de sodio es alta, será mayor el peligro de sodificación y al contrario, si predomina el calcio y magnesio, el peligro es menor.

Como índice de sodio o peligro de sodificación se calculó el RAS (relación de absorción de sodio) mediante la ecuación (6) en la que Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} representan las concentraciones en miliequivalentes por litro de los iones respectivos (Avellaneda 2004).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad (6)$$

La discretización se planteó según lo establecido por la Norma de Riverside (Avellaneda, 2004), en un total de cuatro zonas clasificando como bajo a los valores de RAS menores a 10, como medio a los comprendidos entre 10 y 18, alto entre 18 y 26 y como muy alto a los mayores de 26.

Un agua de riego con una concentración de sodio muy alta en relación a la de calcio y magnesio intercambia estos iones por los iones monovalentes de sodio y debilita la estructura microscópica del suelo, desintegrando las partículas arcillosas en otras más pequeñas que se compactan y dificultan la penetración del agua y el aire. Cuando esto ocurre, se genera un ambiente anaeróbico y concentrado en sales que daña las raíces, afecta la capacidad de germinación y se nota en la formación de costras lisas en la superficie.

Siguiendo lo establecido por Avellaneda (2004) a través de la relación entre el CE y RAS se evaluó la reducción de infiltración utilizando la Figura 1.

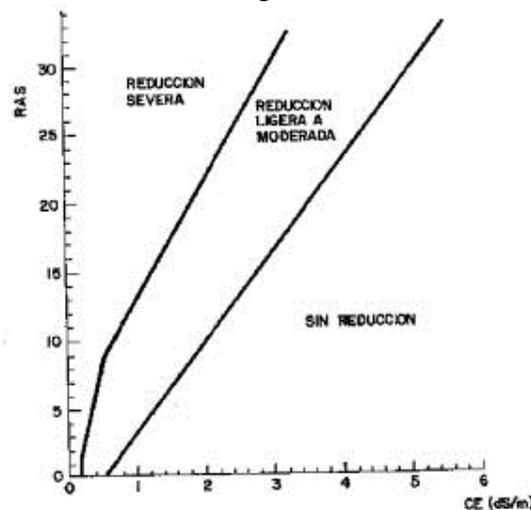


Figura 1. Reducción de infiltración según la relación salinidad-sodicidad

CONCENTRACIÓN DE BORO

El boro en pequeñas concentraciones es esencial para el desarrollo normal de las plantas. Es muy tóxico para algunas especies y en algunos casos la concentración que afecta a las plantas más sensibles es la que necesitan para su desarrollo normal muchas de las plantas tolerantes.

Los valores de tolerancia límite adoptados fueron los propuestos por Scofield (Avellaneda, 2004), que se resume en la tabla N° 2.

Tabla 2. Límites de tolerancia al boro (Scofield)

Categoría	Boro (mg/l)		
	Cultivos sensibles	Cultivos semitolerantes	Cultivos tolerantes
Excelente	<0,3	<0,7	<1,0
Buena	0,3 a 0,7	0,7 a 1,3	1,00 a 2,0
Permisible	0,7 a 1,0	1,3 a 2,0	2,00 a 3,0
Dudosa	1,0 a 1,2	2,0 a 2,5	3,0 a 3,7
No Utilizable	>1,2	>2,5	>3,7

Fuente: Avellaneda (2004)

Para identificar el grado de tolerancia al boro de los cultivos se consultó el listado propuesto por Avellaneda (2004), estableciéndose la vid como sensible, el olivo y hortalizas como semitolerante y las pasturas como muy tolerante.

Concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio y magnesio

El ion carbonato (CO_3^{2-}) y el ion bicarbonato (HCO_3^-) favorecen la precipitación del calcio que se encuentra disuelto en el agua del suelo. Cuando la concentración de calcio disuelto disminuye el sodio se vuelve predominante y causa la compactación del suelo, lo que dificulta la infiltración del agua, el aire y la penetración de las raíces.

El carbonato de sodio residual (CSR) se calcula restando la concentración de carbonato y bicarbonato de las concentraciones de calcio y magnesio del agua. Según Eaton (1950), se subdividen las aguas de riego según el CSR clasificando como no recomendables aquellas con más de 2,5 me/l, como poco recomendables las que poseen entre 1,25 a 2,5 me/l y como buenas aquellas con menos de 1,25 me/l.

RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSION

Del trazado de las isoclinas de conductividad eléctrica, siguiendo la clasificación mencionada en párrafos anteriores, se obtuvo la figura 2, en ella se aprecia una zona central con baja conductividad que la teoría establece puede utilizarse en casi todos los cultivos y suelo sin que se desarrollen condiciones de salinidad que afecten los rendimientos. La mayor superficie de esta figura corresponde a una conductividad moderada, en la que se debe tenerse en cuenta en los suelos de mediana permeabilidad y en cultivos muy sensibles a la salinidad la necesidad de lavados de suelo. Finalmente se encuentran pequeñas islas o zonas en cada punto cardinal de la cuenca de conductividad mediana, condicionando el uso del agua a los suelos de buena permeabilidad y a regulares riegos de lavado.

El tiempo límite de tolerancia a la salinidad para los suelos, trazado en la figura 3, calculado teniendo en cuenta la figura anterior y el Incremento Salino (obtenido de los cultivos existentes y el mapa de texturas de suelos), se dividió en una escala temporal cuyo límite salino será alcanzado en 2, 5, 10 o más de 10 años si los riegos se realizan solo con aguas subterráneas.

La figura 4, reducción a la infiltración o riesgo de sodicidad, resultado de la evaluación de los valores de CE y RAS, marca una muy pequeña zona identificada como de reducción severa al norte del Valle, identificando al resto con una alternancia entre franjas moderadas a sin reducción.

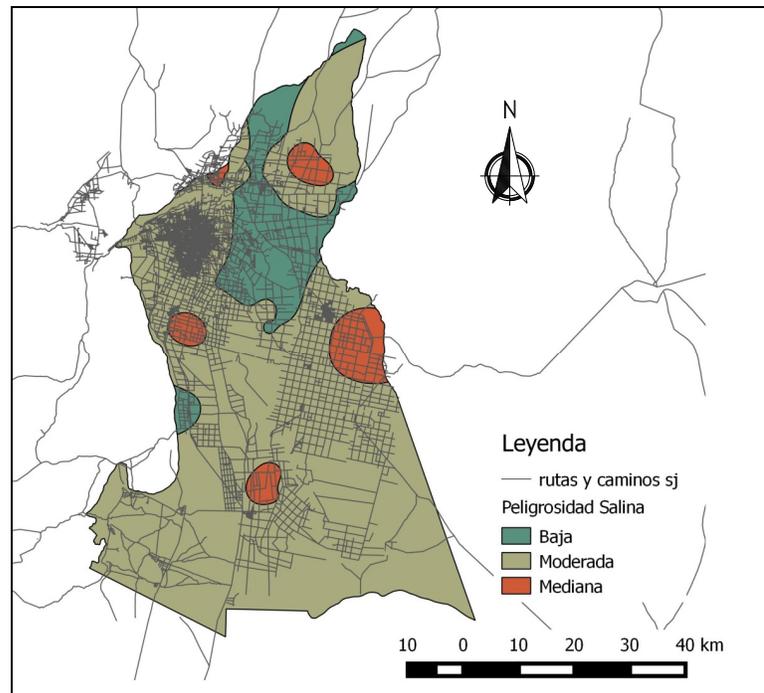


Figura 2. Clasificación de la Peligrosidad Salina de Riverside modificada por Thorne y Peterson para el Valle de Tulum.

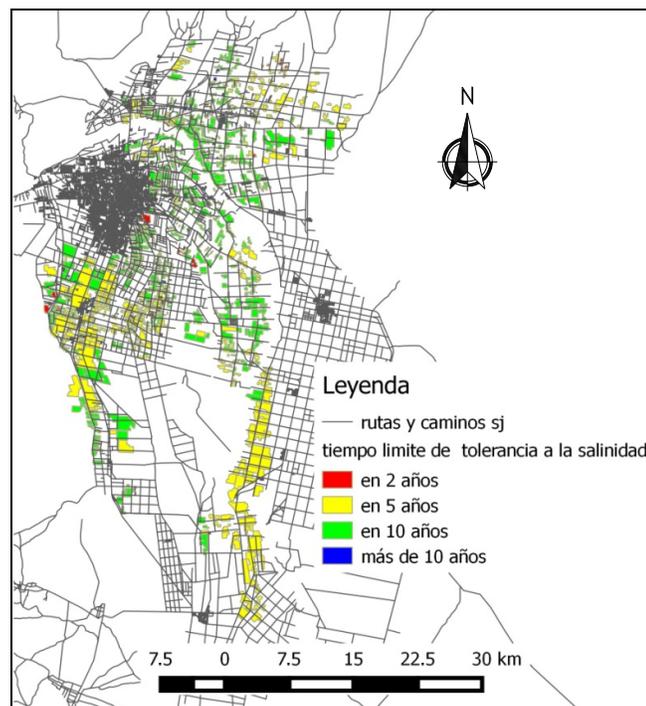


Figura 3. Tiempo límite de tolerancia a la salinidad para los suelos y cultivos del Valle de Tulum

La ubicación de los puntos de muestreo y los resultados de los análisis químicos de las aguas subterráneas permitieron la construcción de isolíneas con igual contenido de boro, las que interceptadas con las superficies cultivadas por tipo de cultivo proporcionaron el mapa de la figura 5 que muestra el nivel de restricción zonal en el uso de esta fuente de agua asociado al patrón de cultivo actual.

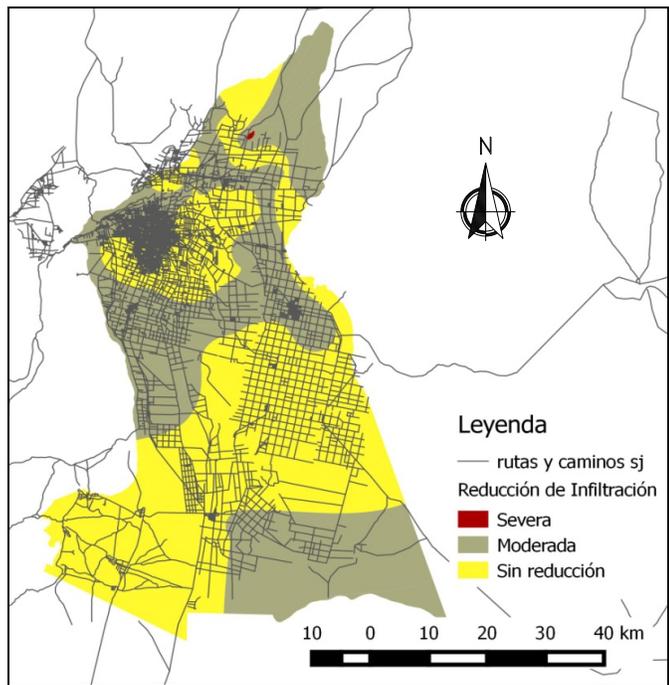


Figura 4. Reducción a la infiltración por el uso de aguas subterráneas en el Valle de Tulum

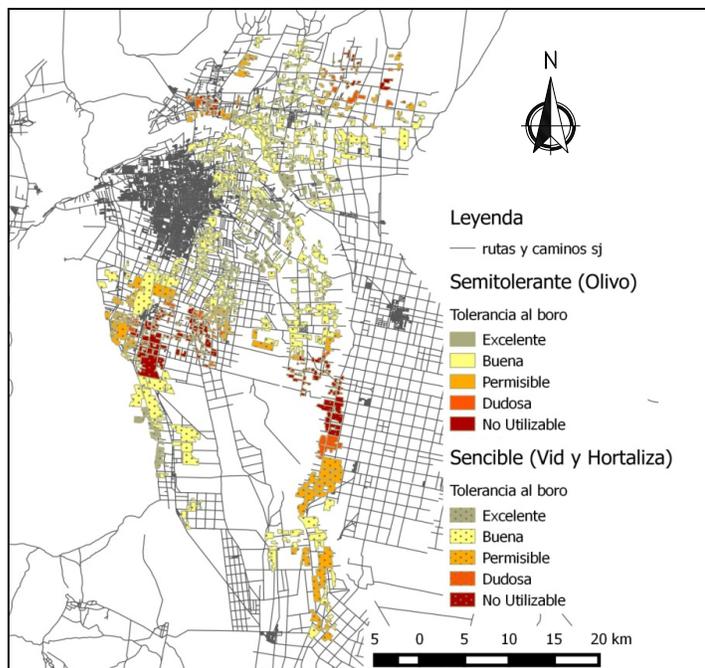


Figura 5. Tolerancia al boro de los cultivos regados solo con aguas subterráneas

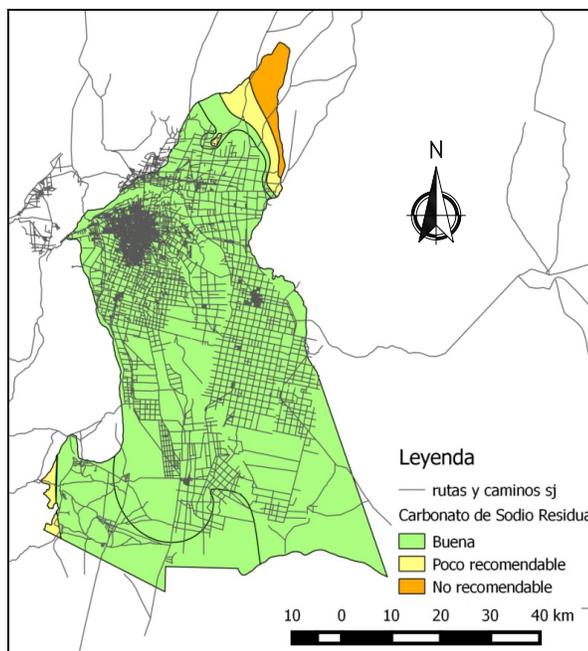


Figura 6. Carbonato de sodio residual

La figura 6 fue construida con la clasificación dada al carbonato de sodio residual indicando en el extremo norte y sureste el uso no recomendable de las aguas subterráneas.

CONCLUSIONES

La menor zona para el uso del agua subterránea teniendo en cuenta todos los parámetros establecidos en el presente trabajo se encuentra al este de la capital de la provincia, abarcando los departamentos de: Santa Lucía, Chimbas, norte de 9 de julio, norte de Rawson y Oeste de San Martín.

Si se utiliza solamente aguas subterráneas para riego, bajo las condiciones enunciadas en la metodología, se entiende que en 5 años casi el 50 % de la superficie cultivada requerirá un estudio y aplicación inmediata de riego para lavado de suelos.

La evaluación conjunta de la CE y el RAS llevan a un punto localizado de problemas por reducción de la infiltración, ubicado al norte de la cuenca por lo que es preciso un estudio de las propiedades físicas del suelo en dicha zona.

Las parcelas más comprometidas por el boro se ubican en la zona sur del valle (departamentos Rawson, Pocito y Caucete), por lo que una solución al tema del uso de esta fuente de recurso hídrico es el planteo de cultivos más tolerantes como el olivo.

REFERENCIAS

- Avellaneda, M.O., Bermejillo, A.I., Mastrantonio, L.E., 2004. Aguas de riego. EDIUNC, UNCuyo, Mendoza, Argentina
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. 1976. Calidad del agua para la agricultura. Estudio Fao: Riego y Drenaje 29.
- Del Cid, M.C y Mallamaci, I. 2007. Atlas socio económico de la provincia de San Juan. Editorial Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina

- Fuentes Yagüe, J.L. y García Legaspi, G. 1999. Técnicas de riego. Sistemas de riego en la agricultura. Mundi-Prensa Mexico, S.A. de C.V. Distrito Federal, México.
- Instituto Nacional del Agua. 1998. Base de datos de las perforaciones de San Juan.
- Richards, L.A., Hayward, H. E., Brown, J. W., Allison, L. E., 1974. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Departamento de Agricultura de los estados Unidos. Editorial Limusa. D.F. México.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2016. Base de datos climáticos de la estación Aero San Juan. Expte N° 148.808