

Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXV. N° 2. Año 2003. 95-102.



## CALIDAD DEL "SITIO" EN EL OASIS NORTE MENDOZA (ARGENTINA)

Benjamín R. Perez Valenzuela  
Carlos E. Salcedo

### LAND QUALITY OF THE AREA IRRIGATED BY THE MENDOZA RIVER (ARGENTINA)

**Originales**

Recepción: 29/11/2001

Aceptación: 03/10/2002

#### **RESUMEN**

La disminución del agua destinada al uso agrícola, la salinización de los acuíferos subterráneos y el advenimiento de la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG) han posibilitado conocer la calidad de los sitios, fundamentalmente los riesgos de salinización de los suelos del oasis del río Mendoza-Argentina.

El presente trabajo se fundamenta en dos estudios anteriores: uno de relevamiento de suelos y el otro de análisis de calidad de aguas subterráneas. En el primero se efectuó la actualización del relevamiento de suelos del río Mendoza usando SIG. El muestreo de suelos y los análisis físicos (textura) y químicos (salinidad, conductividad eléctrica) se realizaron en 1974. Los lugares de muestreo y sus atributos, graficados como cobertura de puntos, se extrapolaron a sus zonas de influencia convirtiéndolos en polígonos y posteriormente se rasterizaron.

El segundo trabajo fue la digitalización y georreferenciación, también al sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM), de los mapas de las curvas de isosalinidad. La salinidad está medida por la conductividad eléctrica específica del agua subterránea de los tres niveles de explotación que existen en la cuenca norte de Mendoza. El monitoreo se realizó en el período 1990/1991. Las isolíneas, posteriormente, fueron rasterizadas.

Con los procesos de superposición y tabulación cruzada de los SIG se integraron las diversas "capas" de datos de suelos y calidades de aguas subterráneas y se generaron mapas temáticos que expresan la clasificación y localización regional de calidades del sitio, basado fundamentalmente en los riesgos de salinización de los suelos.

#### **ABSTRACT**

The water decreasing use in agriculture and aquifer salinization call for an assessment of soil salinization hazards in the oasis irrigated by the Mendoza River in Argentina. Geographic Information Systems (GIS) technology provides an excellent tool to do it.

This paper is founded in two prior studies: one of the soil survey and a groundwater quality analysis. The soil survey of areas irrigated by de Mendoza River was updated using the GIS. Soil sampling and physical (texture) and chemical (salinity, electrical conductivity) analyses were performed in 1974. Sampling locations and their soil properties were plotted, extrapolated to their command areas, and converted into polygons, which were rasterized afterward.

The second study consisted in the digitalization and geo-referencing of the isosalinity curve maps into the Universal Transverse Mercator (UTM) system of coordinates. Salinity is measured as specific electrical conductivity of groundwater in their three exploitation levels in Mendoza's northern basin. Monitoring was carried out in the 1990/1991 period; the isolines were rasterized afterwards.

The various "layers" of soil and groundwater quality data were integrated by means of GIS overlapping and cross-tabulation processes. Thematic maps were generate that show the classification and location of soil salinization hazards. Historical soil salinization is reported.

Dpto. de ingeniería Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown N° 500.  
Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB. ccea@fca.uncu.edu.ar

### Palabras clave

calidad del sitio • calidad de agua subterránea • Sistemas de Información Geográfica (SIG) • Idrisi

### Key words

land quality • groundwater quality • Geographic Information Systems (GIS) • Idrisi

## INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitirían estudiar la vinculación de la paulatina salinización de las aguas subterráneas del Oasis Norte con la probable degradación de la calidad de los suelos irrigados.

Los SIG tienen la ventaja de poder realizar esas asociaciones con precisión, lo cual posibilita modelizar y pronosticar los riesgos de salinización que podrían existir en dichos suelos; se podrían caracterizar sitios en donde la necesidad del buen manejo del agua de riego es más limitante que en otros.

### Objetivos

- Establecer una metodología que sea interpretada por especialistas en SIG.
- Elaborar mapas temáticos que sean de utilidad regional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

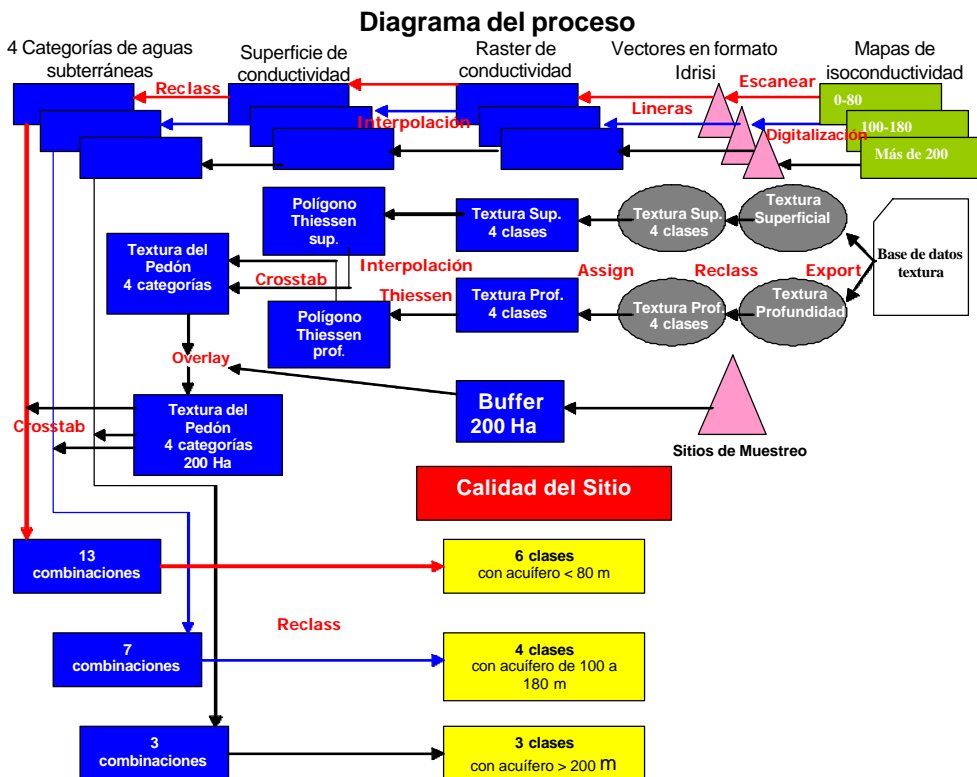
Si bien, por exigencia de la comunicación científica se respetará la estructura convencional, cabe recalcar que en la tecnología de SIG no se pueden separar métodos de resultados.

El software de Sistema de Información Geográfico (SIG) utilizado fue Idrisi32 (4).

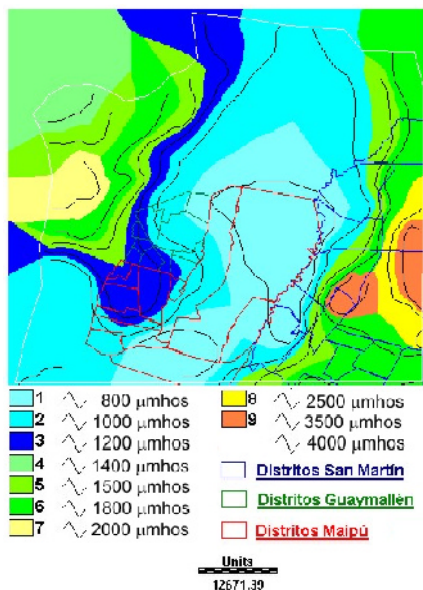
El diagrama (pág. 97) muestra una simplificación del modelo cartográfico desarrollado comunicando los procedimientos realizados.

Conceptual y prácticamente la metodología utilizada fue la siguiente:

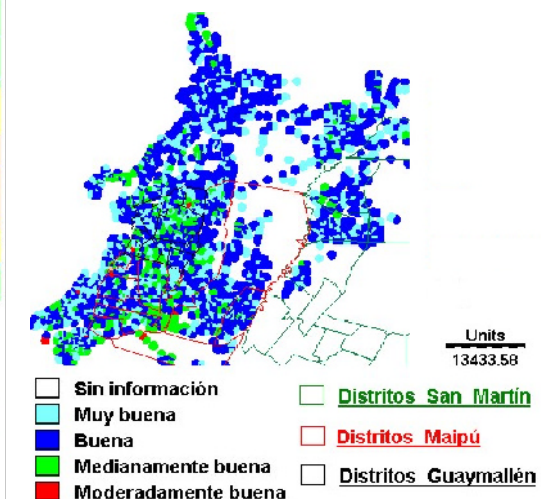
1. Se disponía, en forma digital, de cartografía de textura y salinidad edáfica en superficie, profundidad y de la combinación de ambas capas (5). La información original en papel está en el estudio de suelos del Consorcio Potrerillos (3).
2. Se disponía, en papel, de los mapas de las curvas de isosalinidades, conductividad eléctrica específica del agua subterránea, de los tres niveles de explotación que existen en la cuenca norte de Mendoza (1). En el área de confinamiento-semiconfinamiento el 1° nivel de explotación se asocia con profundidades menores de 80 m, el 2° nivel de 100 a 180 m y el 3° nivel mayor de 200 m.
3. Las curvas se digitalizaron en pantalla después de haberse escaneado o barrido los mapas.
4. Dichas curvas se georeferenciaron al sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) utilizando una cartografía base digital de la zona (2).
5. Las isolíneas de conductividad se rasterizaron y se realizó la interpolación.
6. "Las superficies" de salinidad, de los acuíferos, se clasificaron en 4 categorías.



**Figura 1.** Áreas de isoconductividad eléctrica, acuífero de 100 a 180 m



**Figura 2.** Clasificación de textura en 4 categorías, extensión 200 ha, 1974



7. Se importaron los archivos digitales de la clasificación textural del relevamiento edáfico de 1974. Se importó la base de datos y el archivo vectorial de los sitios de muestreo. A estos puntos se les asignó las texturas, superficial y en profundidad. Como estas informaciones eran puntuales se interpoló con la técnica de polígonos de Thiessen. Con clasificación cruzada se integraron las dos profundidades. Se reclasificó la textura de todo el perfil o pedón en 4 categorías.
8. Con un módulo del SIG, operador de distancia, se limitó la zona de influencia de cada sitio muestreado a 200 ha.
9. Con clasificación cruzada se estableció la combinación de las categorías texturales con las categorías de aguas subterráneas.
10. Se reclasificaron las cartografías obteniéndose las calidades de sitios.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El diagrama del proceso es una simplificación del modelo cartográfico. Para ir integrando informaciones de distintas fuentes se aplicaron diversos procedimientos, cuyos detalles no se consignan para una mayor claridad del diagrama.

En la figura 1 (pág. 97) se observa la interpolación de las líneas de isoconductividad del acuífero comprendido entre los 100 y 180 m de profundidad.

Cartografías similares se realizaron con la información de los acuíferos de 0 a 80 m y el de más de 200 m de profundidad. El área de influencia de cada acuífero, vale decir, las zonas donde existen pozos que extraen agua de esos acuíferos son distintas. En pantalla se digitalizó, como polígono, esas factibles zonas de influencia. En dicha figura se visualiza con el polígono en blanco, la zona de acción de la 2° capa de exploración.

En la leyenda del mapa están consignados los colores asignados a cada clase de salinidad del agua subterránea, medida por su conductividad eléctrica, expresada en  $\mu\text{mhos/cm}$  o  $\mu\text{S/cm}$  a 25 °C. Se consignan las unidades antiguas de conductividad porque son las originales del trabajo. En  $\text{dS/m}$  habría que dividir los valores por 1000.

Las isoconductividades del acuífero comprendido entre los 100 y 180 m de profundidad muestran que al este del río Mendoza -distritos de San Martín- las salinidades aumentan. El trabajo original (1) consignó esas 9 clases de salinidad, más un área muy pequeña con 4000  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25 °C, que está fuera de la zona cartografiada. El acuífero de 0 a 80 m, el del primer nivel de explotación, está mucho más salinizado, con valores consignados, en la zona de estudio, de hasta 5500  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25 °C.

El 3° nivel de explotación: profundidades del acuífero mayores de 200 m, tiene mucha menos salinidad; en la zona de estudio los valores máximos son de 1200  $\text{mhos/cm}$  a 25 °C.

Dichos valores certifican que las fincas que utilicen el acuífero superior tienen muchas más probabilidades de salinizar sus suelos, o en su defecto deben hacer un manejo más cuidadoso del riego, aplicando requerimientos de lixiviaciones más elevados para mantener las salinidades edáficas acordes con buenos rendimientos. Asimismo, si el manejo es optimizado en la zona de exploración radical, esto redundará en una mayor salinización del agua subterránea del primer acuífero. Estas circunstancias son, por lo tanto, las que contribuirán a definir la "calidad de los distintos sitios".

Los valores de la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas se reclasificaron en 4 categorías:

1°	800 - 1200	3°	1801 - 2500
2°	1201 - 1800	4°	> 2500 $\mu\text{mhos/cm}$ a 25 °C

Estos agrupamientos, realizados con criterio práctico y agronómico, han tenido como antecedente la clasificación de Riverside (6). No se han considerado las sales de limitada solubilidad, como el yeso, ni la posible sodificación que provocarían las aguas sódicas, con elevados valores de Relación de Adsorción de Sodio (RAS). La información original no suministraba esos datos. No obstante, las aguas en el Oasis Norte mendocino no tienen RAS elevado; determinaciones propias han certificado que con valores promedios de contenidos salinos de 2300  $\mu\text{mhos/cm}$  el RAS promedio fue de 1.7 y con conductividades promedios de 3000  $\mu\text{mhos/cm}$  el RAS promedio fue de 5.8.

En el segundo trabajo, el referido al estudio edafológico, el relevamiento original estaba discriminado en 7 clases texturales:

Arenosa	Franco-arcillosa
Franco-arenosa	Arcillosa
Franca	Ripio, canto rodado o tosca
Franco-limosa	

Para una necesaria e imprescindible generalización las 7 clases texturales se reclasificaron y se agruparon en 4 clases texturales:

Arenosa/franco-arenosa	Franco-arcillosa/arcillosa
Franca/franco-limosa	Ripio-Canto rodado-Tosca

Como las clases texturales establecidas eran información puntual se realizó interpolación con el método de los polígonos de Thiessen. En zonas de baja densidad de muestreo -escasas muestras por unidad de superficie- las áreas representativas de cada sitio eran muy extensas, por lo que se limitó la extensión de la interpolación a una superficie máxima de 200 ha. Se adoptó este criterio porque la gran heterogeneidad de los suelos aluvionales con aportes eólicos del Oasis Norte no permitiría extrapolaciones extensas. Donde existe mayor densidad de muestreo, la zona de influencia de la caracterización edáfica es mucho menor de las 200 ha.

Como existía información de textura superficial y en profundidad se realizó tabulación cruzada o clasificación cruzada. Con ello se obtuvieron todas las combinaciones posibles entre las cuatro clases texturales de las dos capas analizadas. Como resultado de este cruzamiento de capas se obtuvo una clasificación muy discriminada, por lo tanto se volvió a generalizar para agrupar los pedones en las siguientes cuatro categorías texturales:

- *Muy buena*, pedones constituidos por las combinaciones de texturas variables entre franco-arenosa a franco-limosa.
- *Buena*, pedones totalmente arenosos o franco-arenosos o donde existen capas de arcilla en profundidad.
- *Medianamente buena*, pedones poco profundos o muy arcillosos.
- *Moderadamente buena*, pedones muy poco profundos.

En la figura 2 (pág. 97) se observa la cartografía del relevamiento edáfico donde la textura de los pedones fue agrupada en 4 categorías.

En la figura 3 (pág. 101) que hace referencia al acuífero de 0 a 80 m, está consignada la clasificación cruzada entre las cuatro categorías texturales de los pedones y las cuatro categorías de calidad de aguas subterráneas. Dicha clasificación originó trece combinaciones de textura:agua. En la simbología de la leyenda, el primer dígito representa la categoría textural y el segundo la categoría del agua subterránea. Ejemplos de la simbología:

**1/1** significa sitios con pedones de textura muy buena y con calidades de agua subterránea, del primer acuífero, entre 800 y 1200  $\mu\text{mhos/cm}$ ;

**3/1** son sitios con pedones de textura medianamente buena - pedones poco profundos o muy arcillosos - y con aguas del primer acuífero, también de 800 y 1200  $\mu\text{mhos/cm}$ ;

**2/4** son sitios con texturas del pedón buenas y conductividades eléctricas del agua del primer acuífero mayores de 2500  $\mu\text{mhos/cm}$ .

En la figura 4 (pág. 101) está la clasificación cruzada del 2° acuífero, de 100 a 180 m de profundidad. Estas cartografías son muy importantes: se ha podido integrar la información edáfica textural con las de agua. Este almacenaje digital permite trabajar iterativamente realizando consultas por localización para conocer qué interacción de suelo:agua existe en un determinado sitio. También se puede indagar temáticamente, dónde se encuentra determinada combinación suelo:agua. De la figura 4 se ha consignado una ampliación (pág. 101). En esta escala se puede superponer la cobertura de la cartografía base digital (2), sin que obstruya en demasía la visualización de la información de los mapas temáticos elaborados. Con este recurso se puede localizar con gran precisión lugares geográficos específicos.

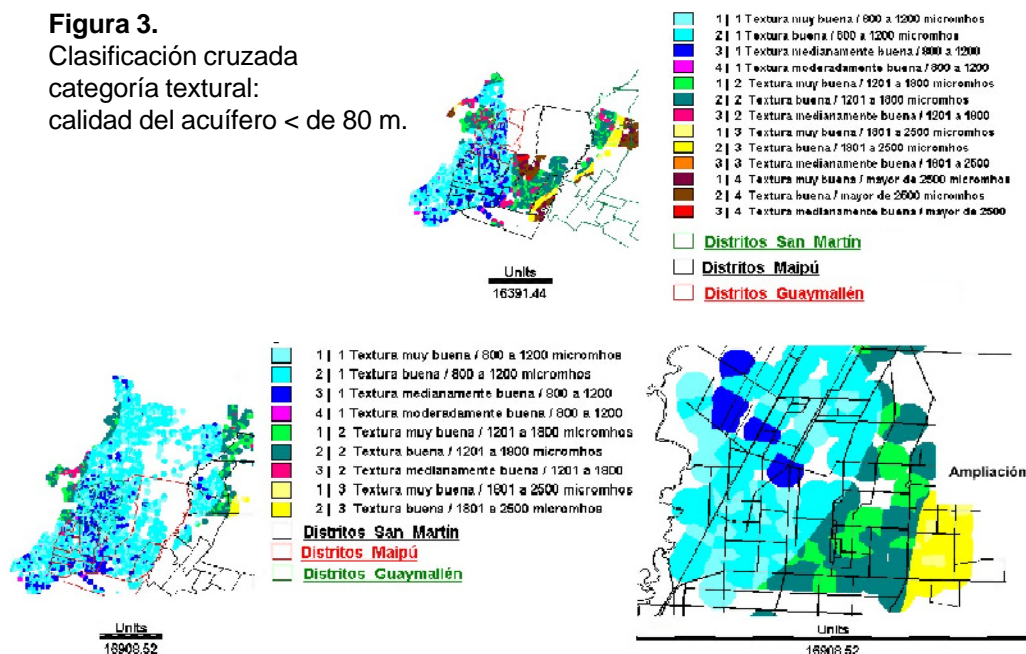
Estos mapas son muy interesantes pero cuando se presentan en papel, o cuando se quiere generalizar conceptos de determinada zona, estas clasificaciones tan discriminadas resultan algo engorrosas: en tal sentido cabe señalar que la interacción textura:agua del primer acuífero de 0 a 80 m origina 13 combinaciones.

Para poder sintetizar, generalizar y memorizar calidades de sitio se realizó la reclasificación de esas clasificaciones cruzadas de acuerdo con los siguientes criterios:

a. Si los sitios son regados con aguas de 1° categoría: conductividades menores de 1201  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25 °C, la calidad del sitio está dada por el código o numeral de la textura del pedón. Ej: si la categoría textural del pedón era *Muy buena*, la calidad del sitio es 1; si hubiera sido *Moderadamente buena*, la calidad del sitio es 4.

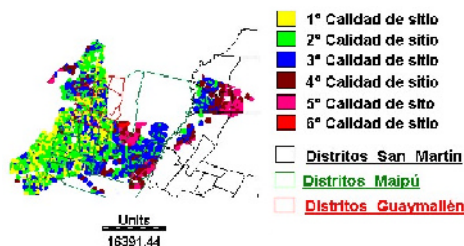
b. Si el agua de riego es de 2° categoría, 1201 a 1800  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25 °C, para determinar la calidad del sitio, a la categoría textural del pedón se le adiciona una unidad. Ej: si es categoría 1 en textura, la calidad del sitio será 2; si texturalmente es 3 (*Medianamente buena*) la calidad de sitio asignada es 4.

**Figura 3.**  
Clasificación cruzada categoría textural: calidad del acuífero < de 80 m.



**Figura 4.** Clasificación cruzada categoría textural: calidad del acuífero 100 a 180 m.

**Figura 5.**  
Clasificación en 6 calidades de sitios, con agua del acuífero de 80 m.



c. Si el agua es de 3° categoría: 1801 a 2500, se adiciona dos unidades al numeral textural; si el pedón es categoría 1, la calidad del sitio es 3.

d. Si el agua es de 4° categoría, mayor a 2500, a la categoría textural se le adiciona 3 unidades para la asignación de la calidad del sitio. Ej: categoría de textura 1, corresponde a calidad de sitio 4; categoría de textura 3 corresponde a calidad de sitio 6.

En la figura 5 está cartografiada esta reclasificación, con la información de la figura 3, es decir con los datos que corresponden al 1° acuífero, con ello se obtienen 6 calidades de sitio. Utilizando los mismos criterios, pero con los datos del acuífero de 100 a 180 m, 2° nivel, se discriminan, en la zona de estudio, las 4 mejores calidades de sitios.

Con los datos de conductividad eléctrica del acuífero mayor de 200 m, la categoría de agua subterránea es de primera, por ello la calidad del sitio está dada por los numerales de las categorías texturales.

La exactitud de los mapas está condicionada a la escala y calidad de los datos de los mapas originales.

Para un estudio más integral de calidad de sitio se podrían incluir "capas" de información de profundidad y calidad de freática, topografía y manejo del agua.

El manejo del agua es difícil de cuantificar pero existe información del consumo eléctrico de los pozos; con ello y las superficies que riegan se podría estimar el agua aplicada, y con estos datos se podría realizar un estudio mucho más preciso de los riesgos de salinización y de la calidad de los sitios.

Cuando se incorporan simultáneamente muchas "capas" de información, las cartografías se empiezan a complicar, se van discriminando muchas subclases; después cuando se quieren expresar las condiciones zonales o regionales se debe, inevitablemente, generalizar. En estas generalizaciones se van perdiendo detalles, a veces importantes. Aunque los SIG permiten realizar ampliaciones e incluir muchas variables para un mismo sitio geográfico a veces es preferible realizar cartografías con pocas variables.

## **CONCLUSIONES**

Cuando se utiliza una tecnología, como en esta ocasión SIG, las conclusiones son los resultados obtenidos, en este caso las cartografías temáticas de "calidad de sitio" elaboradas.

Estos mapas han posibilitado la visualización de la distribución geográfica y la síntesis de características edafo-hidrogeológicas regionales.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Álvarez, A. 1993. Estudios de contaminación del agua subterránea. Salinización de acuíferos y contenido de arsénico, flúor y nitrato. (CRAS) Centro Regional de Agua Subterránea - San Juan.
2. Cappé, O. E. 1997. Sistema de Información Ambiental. I- Base cartográfica de las zonas Norte y Este de Mendoza - Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Tomo XXIX. N° 1: 75-103. UNCuyo. Mendoza.
3. Consorcio Potrerillos. 1975. Aprovechamiento Múltiple Potrerillos. Río Mendoza. Estudios: Suelos. Tomo 39. Comité Conjunto Provincia de Mendoza. Agua y Energía Eléctrica. 320 p.
4. Eastman, J. R. 1999. Idrisi32. Guide to Gis and Image Processing. Clark University. U.S.A.
5. Perez Valenzuela, B. R. y Salcedo, C. E. 2002. Actualización del relevamiento de suelos irrigados por el Río Mendoza (Argentina). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Tomo XXXIV. N° 2: 65-72. UNCuyo. Mendoza.
6. United States Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA. Handbook 60, Washington D.C. USA.