

# APTITUD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS CON DESTINO A RIEGO EN LA PROVINCIA DE ENTRE RIOS.

**Díaz, E.; Valenti, R.; Aguirre, C. y A. Schimpf**

Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Entre Ríos.  
CC 24 (3100) Paraná, Entre Ríos.  
Tel: +54-0343-4975075. E-mail: ediaz@fca.uner.edu.ar

## RESUMEN

El agua en la actividad agropecuaria es un recurso limitante, se debe aumentar la eficiencia en el uso de este recurso, lo que repercute directamente en los resultados económicos de toda actividad relacionada con los productos alimenticios.

Las condiciones climáticas de la provincia de Entre Ríos permiten, en general, la producción de cultivos y pasturas sin necesidad de recurrir al riego, pero para lograr un ingreso estable y creciente, minimizando riesgos, que se logra incrementando la producción, bajando costos y conservando los recursos al mismo tiempo que se conserva la calidad del medio ambiente; es necesario el riego como una actividad de gran importancia que hace más segura la agricultura en la Pr

sión de riego y la generada por el Proyecto: "Sustentabilidad del cultivo de arroz en la Provincia de Entre Ríos". Se ejecutaron censos de perforaciones, referenciamiento de los puntos mediante GPS, determinaciones de laboratorio, procesamiento de datos y la implementación de un SIG basado en Arc View, con todos los puntos referenciados al sistema Gauss Krugger del Instituto Geográfico Militar. Las muestras analizadas totalizan 1074 puntos censados.

sión de riego y la generada por el Proyecto: "Sustentabilidad del cultivo de arroz en la Provincia de Entre Ríos". Se ejecutaron censos de perforaciones, referenciamiento de los puntos mediante GPS, determinaciones de laboratorio, procesamiento de datos y la implementación de un SIG basado en Arc View, con todos los puntos referenciados al sistema Gauss Krugger del Instituto Geográfico Militar. Las muestras analizadas totalizan 1074 puntos censados.

sión de riego y la generada por el Proyecto: "Sustentabilidad del cultivo de arroz en la Provincia de Entre Ríos". Se ejecutaron censos de perforaciones, referenciamiento de los puntos mediante GPS, determinaciones de laboratorio, procesamiento de datos y la implementación de un SIG basado en Arc View, con todos los puntos referenciados al sistema Gauss Krugger del Instituto Geográfico Militar. Las muestras analizadas totalizan 1074 puntos censados.

sión de riego y la generada por el Proyecto: "Sustentabilidad del cultivo de arroz en la Provincia de Entre Ríos". Se ejecutaron censos de perforaciones, referenciamiento de los puntos mediante GPS, determinaciones de laboratorio, procesamiento de datos y la implementación de un SIG basado en Arc View, con todos los puntos referenciados al sistema Gauss Krugger del Instituto Geográfico Militar. Las muestras analizadas totalizan 1074 puntos censados.

sión de riego y la generada por el Proyecto: "Sustentabilidad del cultivo de arroz en la Provincia de Entre Ríos". Se ejecutaron censos de perforaciones, referenciamiento de los puntos mediante GPS, determinaciones de laboratorio, procesamiento de datos y la implementación de un SIG basado en Arc View, con todos los puntos referenciados al sistema Gauss Krugger del Instituto Geográfico Militar. Las muestras analizadas totalizan 1074 puntos censados.

Se confeccionaron planos de Conductividad Eléctrica, Relación Adsorción Sodio (RAS), RAS ajustado, Carbonato de Sodio Residual, Porcentaje de Sodio Soluble, y las relaciones hidroquímicas que permiten caracterizar hidrogeológicamente a los acuíferos mediante las relaciones:  $rCl^{-1}/rCO_3H^{-1}$ ,  $rMg^{+2}/rCa^{+2}$ .

Se ha podido caracterizar a la provincia en función de la aptitud del agua subterránea con destino a riego en función de los parámetros indicados, los suelos y los acuíferos, teniendo en cuenta desde el punto de vista del agua a los valores de Conductividad Eléctrica, RAS ajustado y CSR.

**Palabras clave: aguas subterráneas - riego– Entre Ríos.**

## INTRODUCCION

El presente trabajo se enmarca dentro del Proyecto “Sustentabilidad del cultivo de Arroz en la Provincia de entre Ríos”, desarrollado por el Departamento Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias Agropecuarias - Universidad Nacional de Entre Ríos y financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica mediante un subsidio dentro del programa PICT.

A partir de la línea de investigación que sostiene este proyecto, se busca realizar planteos racionales en la utilización de los recursos suelo y agua para lograr la sustentabilidad en el tiempo de los sistemas de producción agrícola-ganadera, entendiendo que esto no solo involucra a los recursos naturales y su preservación sino el aprovechamiento de los mismos en forma eficiente, comprendiendo el aspecto económico y su permanencia como alternativa viable de producción.

El agua es en la actividad agropecuaria un recursos a veces limitante. Su importancia dentro del ecosistema es tal que es un factor clave en todas las actividades realizadas por el hombre, entre ellas la Agricultura. Las condiciones climáticas de la provincia de Entre Ríos permiten, en general, la producción de cultivos y pasturas sin necesidad de recurrir al riego. Pero la actividad agropecuaria como cualquier empresa desea lograr un ingreso estable y creciente minimizando los riesgos, lo que se logra aumentando la producción, bajando costos, conservando los recursos y cuidando la calidad del medio ambiente.

Ante estas expectativas el riego es una actividad de gran importancia que hace más segura la agricultura, aún en la provincia de Entre Ríos. Por ende la calidad del agua de riego utilizada en la actividad agrícola afecta a la producción y a las características finales de la misma, y hoy es de suma importancia pues se convierte en un indicador de la sostenibilidad del sistema agrícola.

## OBJETIVOS

Se plantea entonces que en la Provincia de Entre Ríos existe información sobre la calidad físico - química del agua superficial y subterránea dispersa en distintos organismos oficiales y de empresas privadas que pueden dar lugar a una Base de Datos posible de Georeferenciar. Es por ello que se plantearon los siguientes objetivos:

- Recopilar la información antecedente de otros organismos provinciales y empresas privadas.
- Generar información adicional en zonas donde existen deficiencias.
- Analizar en laboratorio las muestras de agua colectadas dentro del proyecto.
- Caracterizar la calidad físico - química del agua de origen subterráneo con destino a riego en la Provincia de Entre Ríos.
- Elaborar una base de Datos identificando zonas homogéneas respecto a la calidad físico - química.
- Generar mapas de calidad de aguas subterráneas para la provincia de Entre Ríos, donde se caractericen sus parámetros.

## **METODOLOGIA**

### **Recopilación de Antecedentes**

Para alcanzar los objetivos se planteó como primera actividad la recopilación de información antecedente de aguas subterráneas en la Provincia de Entre Ríos, las fuentes de información fueron en una primera etapa los organismos oficiales, entre ellos:

- Dirección Provincial de Hidráulica (Santi *et al.* 1995, Santi y Casa 1998)
- Dirección Provincial de Saneamiento Ambiental
- Dirección Provincial de Minería y Recursos Hídricos (Bertolini y Tomás 1987).
- Obras Sanitarias de Entre Ríos
- Obras Sanitarias Municipales
- Cooperativas de Obras Sanitarias
- Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la UNL (Fili y Tujchneider 1981, Fili *et al.* 1994, Tujchneider y Fili 1981, Tujchneider y Fili 1982)
- Facultad Regional Paraná de la UTN. (Tomás *et al.* 1999)
- Ex Gerencia Paraná Medio de Agua y Energía Eléctrica de la Nación (AyEE, 1986).

Con respecto a empresas privadas se recopiló información de empresas de perforaciones, de consultoría de riego y de servicios.

Por otra parte en la Facultad de Ciencias Agropecuarias se recopiló información del Laboratorio de Aguas, del Proyecto “Eficiencia y rentabilidad del riego en cultivos seleccionados” y de Trabajos Finales de Graduación de los alumnos de la carrera de Ingeniería Agronómica (Vivot *et al.* 1994, Wilson *et al.* 2002).

En el caso de que los análisis no estuviesen referenciados a las Hojas IGM, las coordenadas de los mismos fueron gráficamente determinados, en los casos que existiesen referencias gráficas de sus ubicaciones. Las muestras que no pudieron ser referenciadas no fueron incluidas en el análisis.

### **Generación de Información adicional**

Dentro de las tareas previstas en el Proyecto “Sustentabilidad del Cultivo de Arroz en la Provincia de Entre Ríos” se encuentra la ejecución de censo de perforaciones destinadas al riego de arroz y de abastecimiento de agua potable a localidades en la zona arrocerá.

Las muestras tomadas fueron referenciadas mediante GPS Navegador Magellan 2000 y convertidos al sistema Gauss Krugger del Instituto Geográfico Militar mediante un software adecuado basado en el Campo Inchauspe. En campo se midió temperatura de las muestras y pH.

### **Análisis de Laboratorio**

Las muestras convenientemente almacenadas y transportadas fueron llevadas al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias donde se le practicaron los análisis de rutina de aniones y cationes y determinaciones específicas:

- Calcio y Magnesio
- Sodio
- Potasio
- Carbonatos y Bicarbonatos
- Cloruros
- Sulfatos
- pH
- Conductividad eléctrica
- Sales Totales

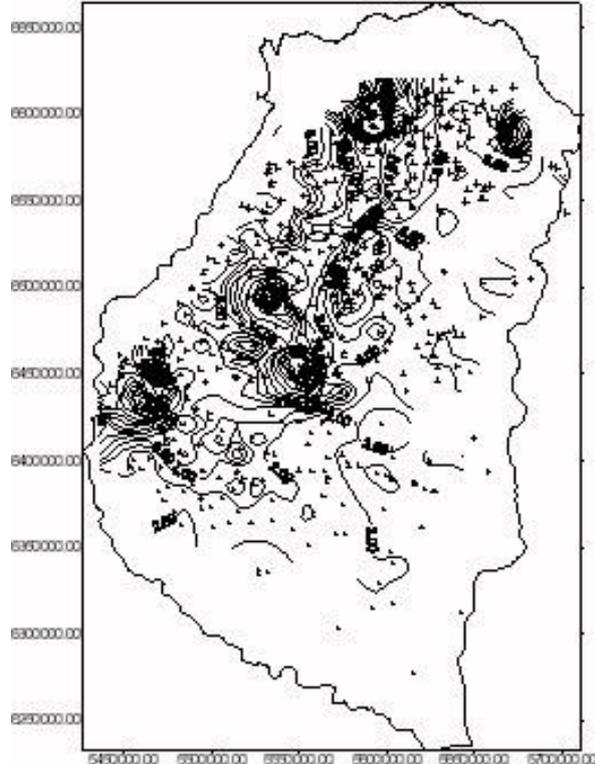
Posteriormente en gabinete se calcularon los índices para determinar su aptitud para el riego y los indicadores hidrogeológicos de:

- Porcentaje de Sodio Soluble (PSS)
- Carbonato de Sodio Residual (CSR)
- Relación adsorción sodio (RAS)
- Relación adsorción sodio ajustado ( $RAS_{aj}$ )
- $r Cl^{-1} / r CO_3H^{-1}$
- $r Mg^{-2} / r Ca^{-2}$

### **Generación de un Sistema de Información Geográfica**

Los datos recopilados y los generados dentro del Proyecto se cargaron en forma tabular como archivos dBASE, desde los programas EXCEL y ACCES, con dicha base de datos se pudo organizar geográficamente a partir de las coordenadas determinadas mediante GPS o a partir de las coordenadas Gauss Krugger de los antecedentes recopilados. Se pudieron crear mapas interactivos para crear las vistas. A partir de dichos mapas se visualizaron los datos que se integran totalmente en el ambiente geográfico de Arc View.

Se incorporó como información adicional al sistema el mapa de suelos de la Provincia de Entre Ríos y una detallada base cartográfica incluyendo localidades, caminos principales y secundarios, red hidrográfica, etc.



**Figura 2. Isovalores de RAS**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

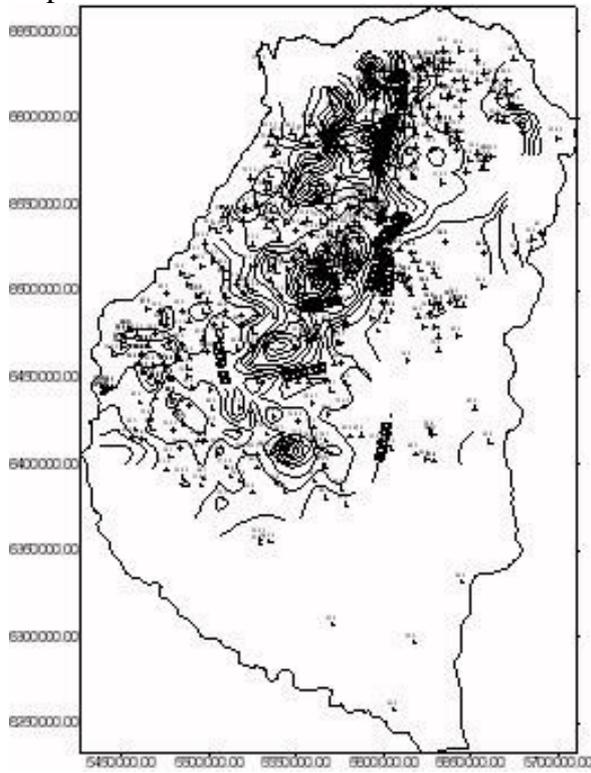
Las muestras analizadas totalizan 1074 puntos censados y se confeccionaron planos de Conductividad Eléctrica, Relación Adsorción Sodio (RAS), RAS ajustado ( $RAS_{aj}$ ), Carbonato de Sodio Residual (CSR), Porcentaje de Sodio Soluble (PSS), y las relaciones hidroquímicas que permiten caracterizar hidrogeológicamente a los acuíferos mediante las relaciones:  $rCl^{-1}/rCO_3H^{-1}$ ,  $rMg^{+2}/rCa^{+2}$ .

Se ha podido caracterizar a la provincia en función de la aptitud del agua subterránea con destino a riego en función de los parámetros indicados, los suelos y los acuíferos, teniendo en cuenta desde el punto de vista del agua a los valores de Conductividad Eléctrica, RAS ajustado y CSR.

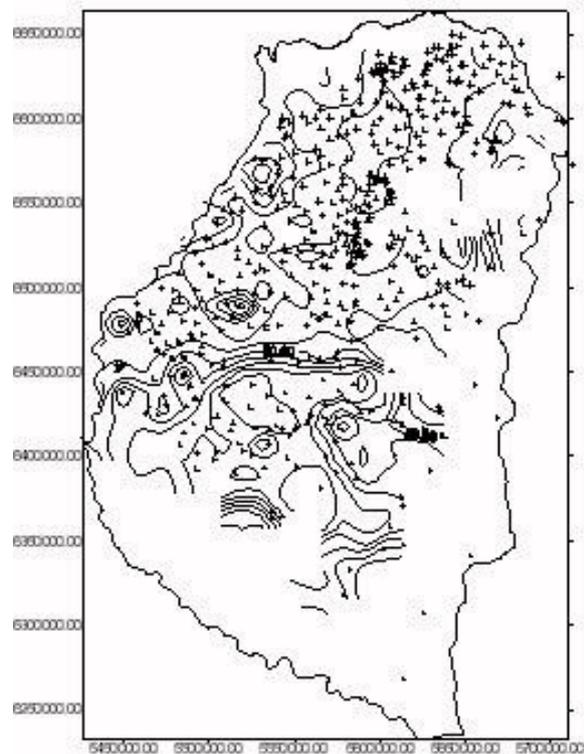
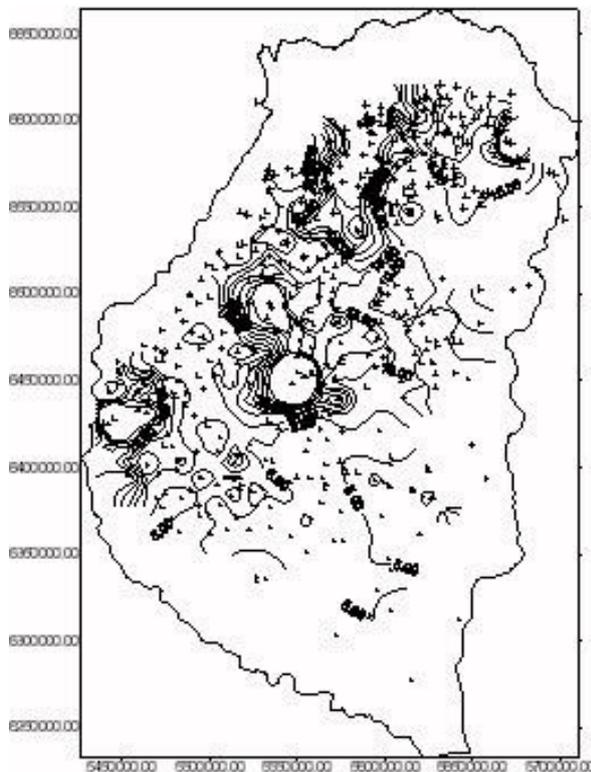
Las Figuras 1, 2, 3 y 4 presentan las representaciones de isovalores de las variables seleccionadas para caracterizar el agua con destino a riego en la provincia de Entre Ríos de:

Conductividad eléctrica  
Relación adsorción sodio

Relación adsorción sodio ajustado  
Porcentaje de Sodio Soluble,  
respectivamente



**Figura 1. Isovalores de Conductividad Eléctrica**



**Figura 3. Isovalores de Ras ajustado**

**Figura 4. Isovalores de PSS**

Las

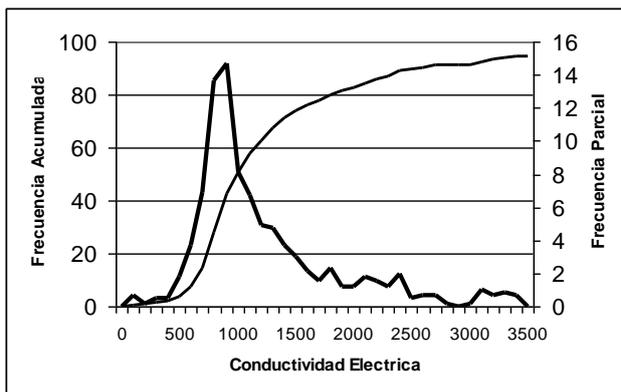
Figuras

5

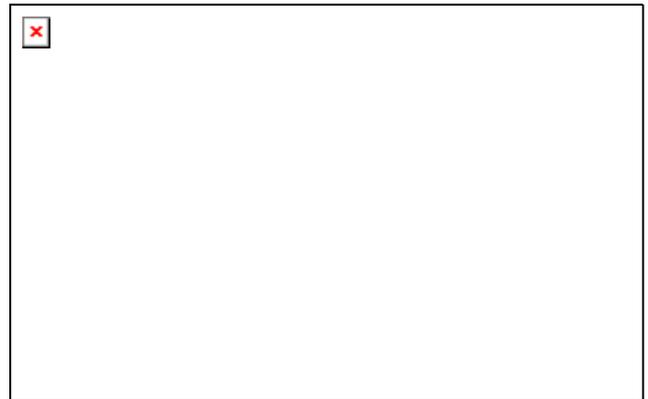
- Menos uestras son de bajas salinidad, Un
- Menos uestras son de bajas salinidad, Un
- Un El s
- e deben usar en suelos cuya permeabilidad sea moderada a buena y con uso de lavados.
- El s e deben usar en suelos cuya permeabilidad sea moderada a buena y con uso de lavados.
- El resto de las muestras pertenece a la clase C4:  $2250 < CE < 4000 \mu\text{Scm}^{-1}$  o a clases mayores, solo deben usarse en suelos con buena permeabilidad y en cultivos con tolerancia a la salinidad.

En cuanto a la distribución de los puntos en la Provincia, la mayor parte de la superficie se encuentra entre Clases C2 y C3, o sea de moderada a medio riesgo de salinización, y se encuentran distribuidos uniformemente en la provincia, los puntos de peor calidad, Clase C4 o superior de alto contenido salino o excesivo, se hallan en la zonas Centro y Centro Norte de la Provincia de Entre Ríos, en coincidencia con la Formación Hernandarias que se caracteriza por su contenido en sales de carbonato y yeso, que le confieren al agua una elevada alcalinidad, dureza y contenido de sulfatos.

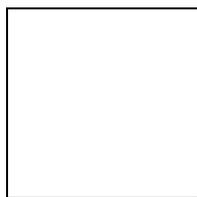
Respecto al RAS, índice del peligro de sodificación de los suelos, depende de las concentraciones de sodio, calcio y magnesio. El 70% de las muestras posee un valor de RAS menor o igual a 10, por lo que son aguas de buena calidad. El 25 % presentan un valor de RAS inferior a 2. Los valores más elevados coinciden con los valores más elevados de CE.



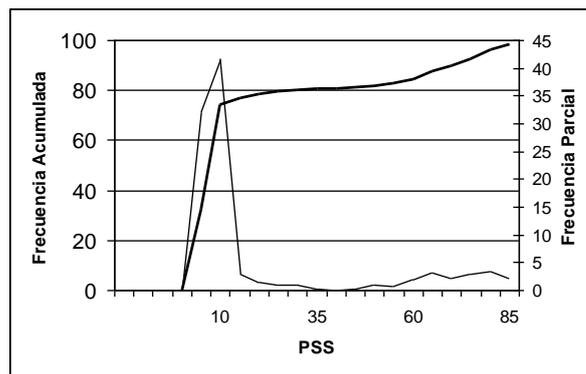
**Figura 5. Frecuencia de Conductividad Eléctrica**



**Figura 6. Frecuencia de RAS**



**Figura 7. Frecuencia de RAS<sub>aj</sub>**



**Figura 8. Frecuencia de PSS**

Ayers y Westcot (1987), introdujeron el concepto de RAS ajustado (RAS<sub>aj</sub>), que tiene en cuenta la precipitación de Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, por la presencia de CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-1</sup>, produciéndose el reemplazo de los iones Ca<sup>+2</sup> adsorbidos en los coloides por iones Na<sup>+1</sup> en caso de los suelos con alto contenido de arcillas montmorilloníticas.

El 30 % de las muestras no tendrían problemas pues se encuentran dentro del rango donde no hay inconvenientes, clase S1 menor que 6, por sobre RAS<sub>aj</sub> mayor que 6 se encuentran el 70 % de las muestras y existe peligro de sodificación, entre 6 y 9 de RAS<sub>aj</sub> se encuentran el 22,9% de las muestras. Por otro lado el 48% de las muestras poseen RAS<sub>aj</sub> mayor o igual a 10, indicando que las aguas no son aptas para riego.

El PSS es un indicador del peligro de sodificación de los suelos, definido como la relación de sodio en meql<sup>-1</sup> al total de cationes expresados en meql<sup>-1</sup>, multiplicado por 100. El 84% de las muestras no tienen problemas en función de que presentan valores de PSS inferiores a 60%, la mayor frecuencia se encuentra con valores de PSS menores al 10 %, con un total del 41,7% de las muestras analizadas.

Desde el punto de vista de interpretación a partir de los índices Hidrogeoquímicos, se han considerado dos, las relaciones  $r_{Cl^{-1}/r_{CO_3H^{-1}}}$ ,  $r_{Mg^{+2}/r_{Ca^{+2}}}$ . La primera está muy relacionada al RAS<sub>aj</sub>, y toma valores de 0,3 a 1,5 para aguas continentales. En pocos puntos de la provincia se verifica un valor mayor a 1, dichos puntos se encuentran distribuidos en la zona Centro Oeste de la provincia y en algunos puntos aislados al Sur y en la costa del Río Uruguay del Departamento Concordia.

Por otra parte la relación  $r_{Mg^{+2}/r_{Ca^{+2}}}$  es útil en la caracterización de la intrusión marina, ya que en aguas continentales tiene normalmente un valor entre 0,1 y 5 siendo el agua de mar aproximadamente de 20 (Custodio y Llamas, 1983).

El 90 % de las muestras posee un valor menor a 1, por lo que puede inferirse que son aguas consideradas jóvenes y sin efectos de intrusión marina (Custodio, op. cit.). Se observan pocos puntos con valores elevados en el área de los Departamentos Diamante y Victoria, explicando la influencia de las perforaciones profundas en la Formación Paraná, de origen marino.

## CONCLUSIONES

Fue posible generar un SIG de la calidad físico-química de las aguas subterráneas de la Provincia de Entre Ríos utilizando información antecedente recopilada en organismos oficiales, en empresas privadas y de la propia generada por la FCA-UNER.

Se caracterizó la evolución química a partir de planos de isovalores de los principales indicadores: CE, RAS, RAS<sub>aj</sub> y PSS, para determinar la aptitud de las aguas subterráneas con destino a riego.

Las Formaciones Ituzaingó, Salto Chico y Paraná son aptas para ser utilizadas con destino al riego complementario, debiendo analizarse en especial, algunas zonas del centro de la provincia en donde existen severas limitaciones para el uso con destino a riego y agua potable.

## AGRADECIMIENTOS

A los integrantes del Proyecto “Sustentabilidad del cultivo de arroz en la Provincia de Entre Ríos” donde se ejecutó el presente trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- Agua y Energía Eléctrica** 1986. *Relevamiento Hidrogeoquímico expeditivo en San Víctor. Provincia de Entre Ríos*. Santa Fe. Inédito.
- Ayers R.S. y D.W. Westcot** (1987). *La calidad del agua en la agricultura*. Estudio FAO: Riego y Drenaje. 85 p. Roma.
- Bertolini J.C. y M.A. Tomás** (1984). *Inventario del recurso agua subterránea en la Provincia de Entre Ríos*. Dirección de Minería y Recursos Hídricos de Entre Ríos. SECYT. Inédito.
- Custodio E. y M.R. Llamas** (1983). *Hidrología Subterránea*. Tomo I y II. Segunda Edición. Editorial Omega.
- Fili M.F. y O.C. Tujchneider** (1981). “*Geohidrología de la subcuenca Arroyo Mojones. Cuenca del Río Gualaguay. República Argentina*”. Publicación del DHGyA-UNL N° 11:1-23.
- Fili M.F., Tujchneider O.C., Pérez M. y M. Paris** (1994). “*Investigaciones Geohidrológicas en la Provincia de Entre Ríos*”. Seminario Hispano-Argentino sobre temas actuales en Hidrología Subterránea. Universidad Politécnica de Catalunya y Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Consejo de Investigación Científica y Tecnológica de Entre Ríos**. *Geohidrología de la Hoja 3160-30 San Salvador. Provincia de Entre Ríos*. Inédito.
- Santi M., Costa H., Lell R. y J. Martínez** (1995). *Estudio de Aguas Subterráneas. Etapa I*. Tomos I, II, III y IV. Dirección de Hidráulica y Recursos Hídricos de la Provincia de Entre Ríos. CFI. Inédito.
- Santi M. y E. Casa** (1998). *Estudio de Aguas Subterráneas. Etapa II*. Dirección de Hidráulica y Recursos Hídricos de la Provincia de Entre Ríos. CFI. Inédito.
- Tomás J.R., Valenti R., Duarte O., Graizaro S y H. Sione** (1999). “*Aptitud del agua subterránea con destino a riego en sectores de los departamentos Paraná, Diamante y Nogoyá de la Provincia de Entre Ríos. Argentina*”. II Congreso Nacional de Hidrogeología. Santa Fe. ISSN 1514-4186.
- Tujchneider O.C. y M.F. Fili** (1982a). *Geohidrología de la subcuenca Arroyo Ortiz. Cuenca del Río Gualaguay. República Argentina*. Publicación del DHGyA-UNL N° 17.
- Tujchneider O.C. y M.F. Fili** (1982b). *Geohidrología de la subcuenca Arroyo Sauce de Luna. Cuenca del Río Gualaguay. República Argentina*. Publicación del DHGyA-UNL.
- Vivot E., Barbagelata H., Cruañes M.C. y M. Plouchouk** (1994). “*Calidad de acuíferos subterráneos para consumo humano, animal y riego de cultivo en los departamentos Paraná y Diamante de la Provincia de Entre Ríos*”. UNER. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Wilson M., Cerana J., Valenti R., Díaz E., Duarte O., De Batista J.J., Rivarola S. y R. Benavídez** (2002). “*Sustentabilidad del cultivo de arroz en Entre Ríos. 1) Evaluación de la calidad del agua para riego*”. Enviado a Cuadernos del CURIHAM. 9 p.