

## SALINIDAD EN LA ZONAS SATURADA Y NO SATURADA DEL ACUIFERO DEL DISTRITO DE RIEGO 014 “RIO COLORADO” MÉXICO

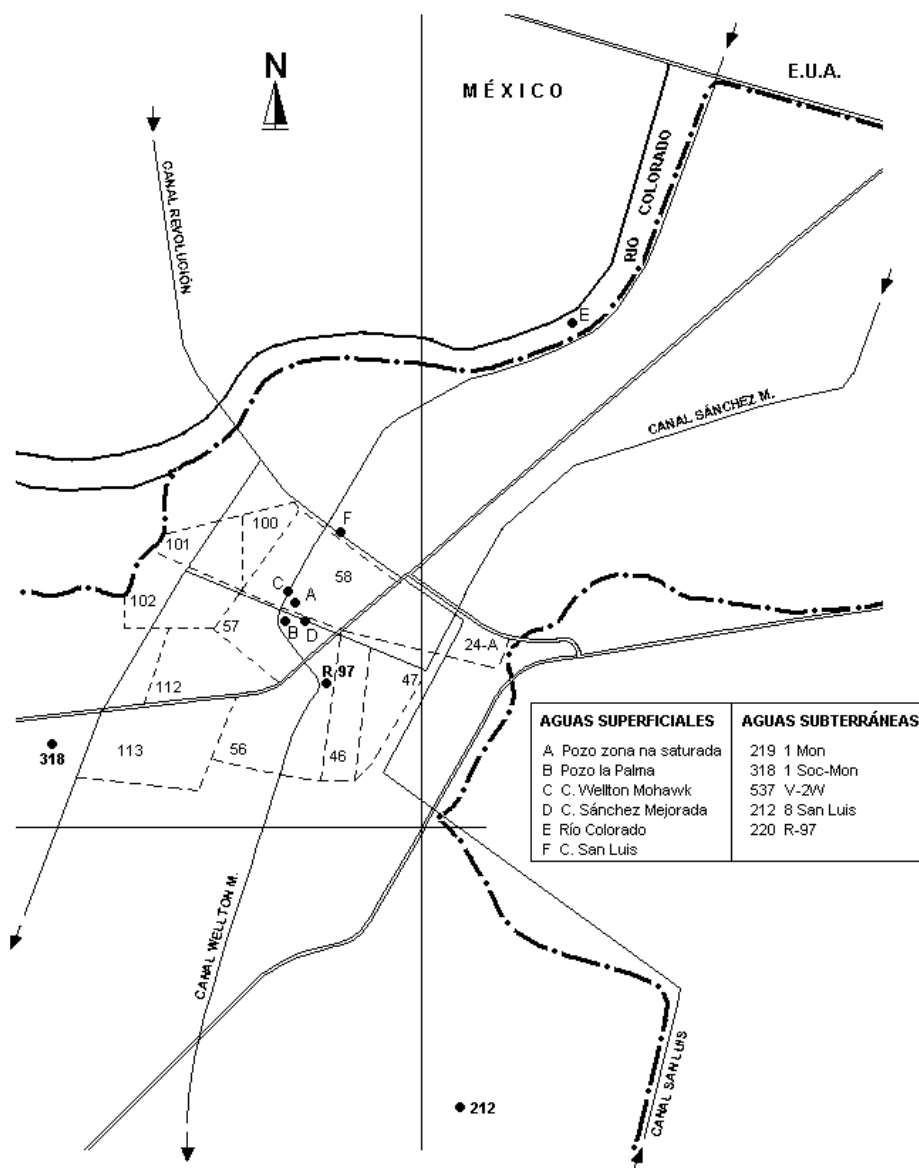
M en I Carlos Gutiérrez Ojeda<sup>1</sup>

**Abstract** - La calidad del agua subterránea del acuífero que subyace al Distrito de Riego 014, Río Colorado, se ha visto seriamente deteriorada durante las últimas décadas debido al incremento de sales provenientes de distintas fuentes así como a la ausencia de drenaje parcelario. En este trabajo se describen los principales resultados de un proyecto desarrollado por el IMTA en el año de 1998, el cual tuvo como objetivo el evaluar el impacto de las fuentes superficiales y subterráneas en el incremento de sales del agua subterránea. Para ello se perforaron dos pozos exploratorios uno en zona saturada, denominado pozo “La Palma”, y otro en zona no saturada, en la confluencia de los canales Sánchez Mejorada y Wellton Mohawk del Módulo 1. Los pozos exploratorios permitieron caracterizar en la vertical, las aguas de poro en todo el perfil de la zona no saturada (8.5 m) y las aguas subterráneas en los primeros 30 m de profundidad de la zona saturada. Adicionalmente se tomaron muestras de agua de los canales Sánchez Mejorada, Wellton Mohawk, San Luis y río Colorado, así como de pozos profundos localizados en las proximidades del pozo La Palma. De la integración y el análisis de la información se concluyó que las aguas subterráneas someras del pozo La Palma son el resultado de la mezcla de aguas subterráneas profundas utilizadas para el riego del Módulo 1, de aguas transportadas por el Río Colorado (utilizadas para regar otros Módulos del DR014), de aguas del canal no revestido Sánchez Mejorada y en menor grado de los canales revestidos Wellton Mohawk y San Luis. Las sales solubles se acumulan en los primeros 2-3 metros del perfil del suelo y provienen principalmente de los retornos del riego con agua subterránea profunda; las sales que predominan en las soluciones remanentes o agua de poro, después de la evapotranspiración e infiltración, son:  $\text{CaSO}_{4\text{aq}}$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaSO}_4$ ,  $\text{CaHCO}_3$ ,  $\text{MgHCO}_3$  y  $\text{NaHCO}_{3\text{aq}}$ . Los retornos del riego experimentan un movimiento tanto vertical como horizontal, producto de las altas transmisividades del acuífero como de la extracción del agua subterránea profunda.

**Palabras clave** - salinidad, calidad del agua, agua de poro.

## LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se ubica al Norte del Módulo 1, en el predio No. 57 del ejido San Luis Río Colorado (Figura 1). El Módulo 1 se ubica en la margen izquierda del Distrito de Riego 014, Río Colorado, dentro de una extensa planicie que abarca el delta del citado Río. El Módulo 1 cuenta con una superficie de 11,039 ha y 706 usuarios registrados.



<sup>1</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, 62550 Jiutepec, Morelos, México, Email: [cgutierrez@tlaloc.imta.mx](mailto:cgutierrez@tlaloc.imta.mx)

**Figura 1.** Localización de la zona de estudio, pozos exploratorios y sitios de muestreo de aguas superficiales y subterráneas del Módulo I.

### **POZO EXPLORATORIO EN ZONA NO SATURADA**

Con el fin de determinar la concentración de los iones mayores en todo el perfil de la zona no saturada, se llevó a cabo la perforación de un pozo exploratorio en el predio No 57 del Ejido San Luis ubicado en la confluencia de los Canales Sánchez Mejorada y Wellton Mohawk (Figura 1). La perforación se realizó el día 1 de diciembre de 1998, utilizando para ello un equipo de perforación manual de aluminio marca Dormer. Se obtuvieron 750 – 1,000 g de sedimentos inalterados a cada 0.50 m de profundidad, hasta alcanzar el nivel freático a los 8.5 m de profundidad. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio del CETYS para las determinaciones analíticas de Contenido de Humedad, pH, Conductividad Eléctrica, Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub> y NO<sub>3</sub>. El procedimiento para determinar los iones fue el siguiente: se pesaron 5 gramos aproximadamente de muestra de suelo, se les agregó 50 ml de agua tridestilada y digirió la mezcla durante tres horas a reflujo a una temperatura de 100°C. La mezcla resultante se enfrió, filtró, llevó a volumen determinado y se determinaron los iones por cromatografía de iones o métodos volumétricos y colorimétricos.

### **POZO DE MONITOREO “LA PALMA”**

Durante la primera semana del mes de diciembre de 1999 se llevó a cabo la perforación de un pozo de monitoreo a 40 m de profundidad en la confluencia de los Canales Sánchez Mejorada y Wellton Mohawk perteneciente al ejido San Luis del Módulo 1, Distrito de Riego 014 (Figura 1). El propósito del pozo fue el monitorear la calidad del agua subterránea en los primeros 30 m de profundidad de la zona saturada. Para la ejecución de la obra se utilizó un equipo de perforación porta-drill 2500 tipo rotaria directo. Se perforaron 40 m de profundidad con un diámetro de 10 pulgadas. Se instalaron 5 m de ademe liso de acero en la superficie de 6 pulgadas de diámetro y 35 m de ademe ranurado de acero de 6 pulgadas de diámetro. A continuación se llevó a cabo la limpieza, el desarrollo y el aforo del pozo. La terminación del pozo incluyó la instalación de un brocal y tapa de acero y la adaptación de una bisagra con candado para la protección del pozo.

### **MUESTREO DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA**

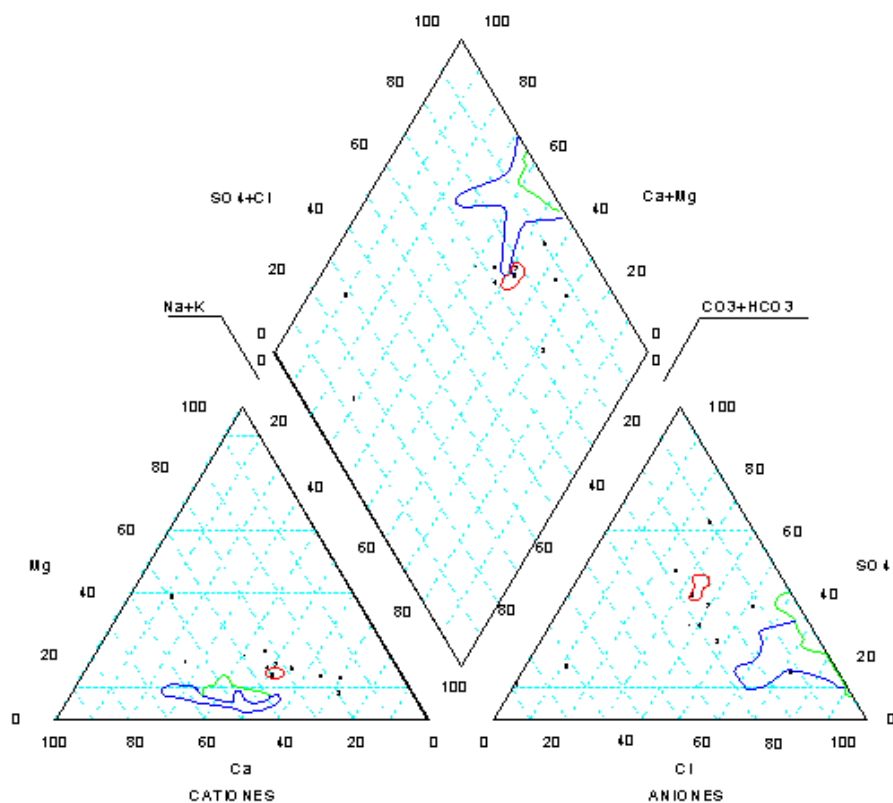
A principios del mes de Diciembre de 1998 se llevó a cabo el muestreo de aguas superficiales y aguas subterráneas en la vertical y en las proximidades del pozo La Palma, con el fin de determinar el origen y la evolución de las aguas subterráneas así como evaluar

su calidad y el impacto de las aguas superficiales en el agua subterránea. En total se tomaron 19 muestras de aguas superficiales y subterráneas, distribuidas de la siguiente forma (Figura 1): cuatro de aguas superficiales (Río Colorado, Canal Sánchez Mejorada, Canal San Luis, Canal Wellton Mohawk) y quince de aguas subterráneas (catorce del pozo La Palma a distintas profundidades y una del pozo R-97). Las muestras de agua superficial se tomaron directamente de los canales y Río Colorado, y se determinaron los siguientes parámetros en campo: temperatura, conductividad eléctrica y pH. Se tomaron 2 muestras para los análisis de STD, iones mayores (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>) y elementos traza (PO<sub>4</sub>, Fe, Pb, Cr, Hg, Cd). Las muestras de agua subterránea del pozo La Palma, se tomaron con botella Marriot a 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 31, 34 y 36 m de profundidad. Se midieron los parámetros de campo mencionados anteriormente y se tomaron 2 muestras de agua para los análisis de STD, iones mayores (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>) y elementos traza (PO<sub>4</sub>, Fe, Hg). Adicionalmente se tomó una muestra de agua subterránea profunda del pozo R-97, ubicado a 300 m del pozo La Palma. Los análisis realizados a las muestras de agua subterránea del pozo R-97 fueron similares a los realizados a las muestras de agua subterránea del pozo La Palma. Los análisis de laboratorio se realizaron en las instalaciones del CETYS en Mexicali.

## **INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En el diagrama de Piper de la Figura 2 se muestran todas las aguas de poro, superficiales y subterráneas (someras y profundas) monitoreadas para este proyecto y algunas muestras de aguas subterráneas profundas de estudios anteriores. Del diagrama de Piper se puede observar (i) la evolución que siguen las aguas de poro desde la superficie hasta el nivel freático y (ii) la influencia de las aguas superficiales y subterráneas en la calidad del agua subterránea somera del pozo La Palma.

FIGURA 19. DIAGRAMA DE PIPER



- Agua de poro (0-4.75 m de prof.)
- Agua de poro (5.25-8.25 m de prof.)
- Aguas subterráneas-pozo La Palma (8.25 m - 36 m de prof.)

**POZOS PROFUNDOS**

- 1 1 Monumentos (219)
- 2 1 Soc. Monumentos (318)
- 3 V-2W (537)
- 4 8 San Luis (212)
- 5 R-97

**AGUAS SUPERFICIALES**

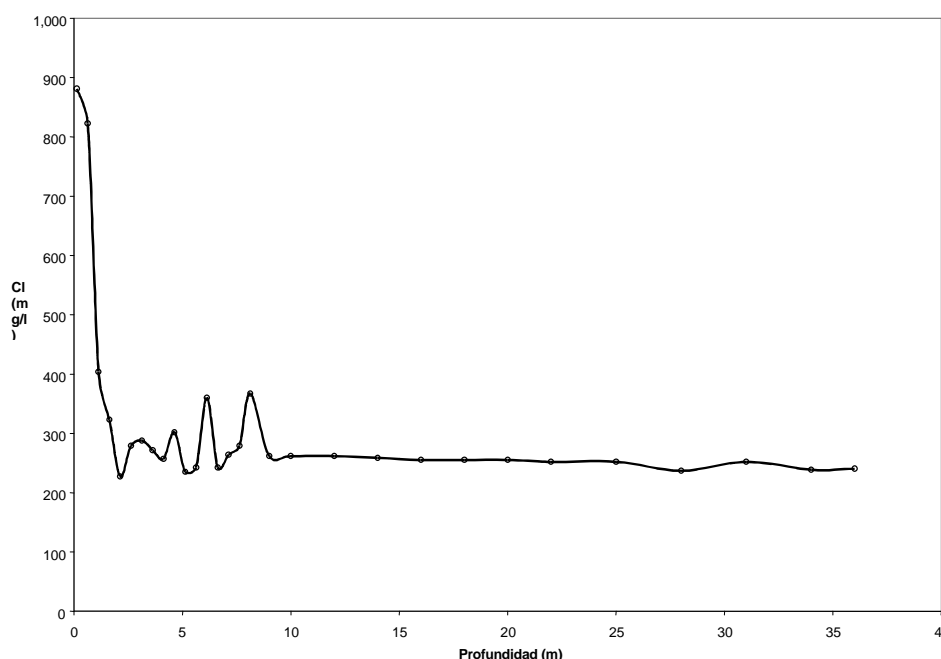
- a Río Colorado
- b Canal Sánchez M.
- c C. San Luis (Mesa Arenosa)

Las aguas de poro mas someras (0 a 4.75 m) son del tipo Cl-Na:Ca y conforme se profundizan (5.25 a 8.25 m) el contenido relativo de SO<sub>4</sub> se incrementa, mientras que el del Cl disminuye. Las aguas subterráneas profundas al igual que las aguas superficiales son del tipo SO<sub>4</sub> y Cl – Na, mientras que las aguas subterráneas someras del pozo La Palma son SO<sub>4</sub> – Na, por lo que las aguas que ingresan a la zona no saturada pueden provenir, en principio, del agua subterránea profunda utilizada para el riego y de la infiltración de aguas del Río Colorado, canal Sánchez Mejorada (no revestido), canal San Luis (revestido) y canal Wellton Mohawk (revestido).

Del análisis de las concentraciones de Cl presentes en las aguas superficiales y subterráneas de la región en estudio se concluye que las aguas del Río Colorado son las que mas influencia probable tienen en la calidad del agua subterránea somera, seguido

del agua subterránea profunda, del canal no revestido Sánchez Mejorada y en menor grado de los canales revestidos Wellton Mohawk y San Luis.

En la Figura 3 se muestra el perfil de Cl de las zonas no saturada y saturada (pozo La Palma). Se observan valores de mas de 800 mg/l cerca de la superficie y un estado casi establecido alrededor de los 240 mg/l, de los 2.00 a los 8.25 m de profundidad. Los valores someros muestran el típico efecto de evapotranspiración encontrado cerca de la superficie del suelo, mientras que el valor de 240 mg/l se ubica muy cerca del valor medio de 253 mg/l encontrado en la zona saturada del pozo La Palma. Esto puede ser indicio de que el agua que ingresa al subsuelo y alcanza los 2 m de profundidad se transmite hasta el nivel freático sin sufrir ninguna o poca variación en su calidad físico-química, en especial en cuanto al contenido de Cl. Por otro lado, se observa que en los primeros dos metros del perfil se acumula la mayor cantidad de sales, lo cual confirma lo señalado por Arita (1974) y se observa también en los perfiles individuales de solutos de la zona no saturada. En el caso del  $\text{SO}_4$ , se muestra una tendencia ligeramente diferente debido probablemente al cambio en las condiciones de óxido-reducción.

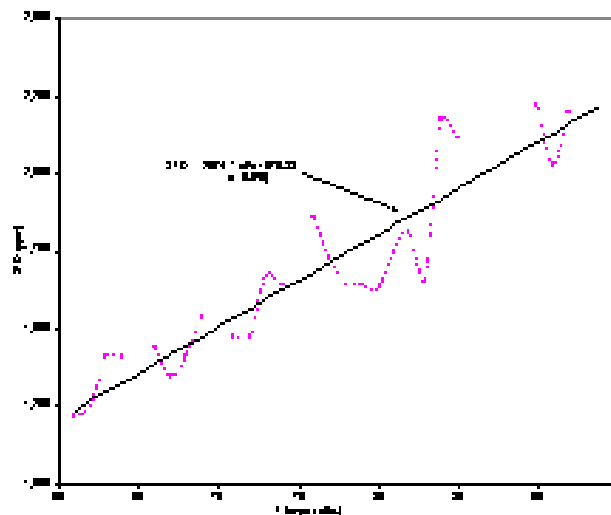


**Figura 3.** Perfil de Cl de las zonas no saturada y saturada.

Las aguas de poro que llegan al nivel freático, son del tipo  $\text{SO}_4\text{-Na}$ , al igual que la del agua subterránea somera del pozo La Palma. Utilizando el programa de especiación geoquímica WATEQ4F se determinó que las sales solubles que predominan en éstas

soluciones remanentes o agua de poro, después de la respectiva evapotranspiración e infiltración, son:  $\text{CaSO}_{4\text{aq}}$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaSO}_4$ ,  $\text{CaHCO}_3$ ,  $\text{MgHCO}_3$  y  $\text{NaHCO}_{3\text{aq}}$ . De acuerdo a Sabol et al. (1987), las sales  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y  $\text{NaHCO}_3$  son tóxicas para todos los cultivos del DR014. Resultados similares se obtuvieron con la muestra del pozo R-97, por lo cual se considera que éstos remanentes de agua corresponden a retornos del riego provenientes del agua subterránea profunda.

La profundidad que han alcanzado los retornos del riego no fue detectada en el pozo La Palma Sin embargo, se sabe que el pozo R-97 ha sido repuesto en al menos tres ocasiones; al parecer las reposiciones obedecen mas a aspectos de calidad del recurso subterráneo que a problemas de tipo mecánico u operativo del pozo (Figuras 4 ).



**Figura 4.** Evolución de los STD en el pozo R-97.

Al problema de movimiento vertical descendente de los retornos del riego, hay que sumarle el movimiento horizontal originado por las altas transmisividades del acuífero, lo cual origina que el frente salino avance tanto vertical como horizontalmente. Esto explicaría en parte, el incremento en las concentraciones de sales reportadas en Mesa Arenosa (Sánchez Díaz y Gutiérrez Ojeda, 1998).

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las aguas subterráneas someras del pozo La Palma, son el resultado de la mezcla de aguas provenientes de distintas fuentes.

La mayor cantidad de sales solubles se acumula en los primeros 2-3 metros del perfil del suelo.

La acumulación de sales en los suelos y aguas subterráneas (someras) se ve favorecida por condiciones de escasa lluvia, alta evaporación, sales poco solubles, deficiente drenaje interno y alta concentración de sales en el agua superficial o subterránea utilizada en el riego. La aplicación de volúmenes de riego adicionales y la elevación de los niveles estáticos (prácticas de riego) tienden a acentuar aún más la acumulación de las sales en los suelos.

Las sales solubles que predominan en las soluciones remanentes o agua de poro, después de la evapotranspiración e infiltración provienen principalmente de los retornos del riego con agua subterránea profunda.

Los retornos del riego experimentan un movimiento tanto vertical como horizontal, producto de las altas transmisividades del acuífero como de la extracción del agua subterránea profunda.

## **REFERENCIAS**

- Arita A C, 1975, Caracterización de áreas con problemas potenciales de ensalitramiento y balance de sales, Dirección General de Distritos de Riego, SRH.
- CIS (Consultores en Infraestructura y Servicios) S.A. de C.V., 1996, Actualización del estudio geohidrológico de la Cuenca Baja del Río Colorado, B.C.
- IMTA, 1996, Impacto de las actividades agrícolas en la calidad del agua subterránea del Distrito de Riego 014, Río Colorado, B.C., Proyecto TH9614.
- IMTA, 1997a, Impacto de las actividades agrícolas en la calidad del agua subterránea del Distrito de Riego 014, Río Colorado, B.C., Segunda Etapa, Proyecto TH9718.
- IMTA 1997b, Metodologías para estimar la recarga de acuíferos (2ª Etapa), Proyecto TH9710.
- Paredes, A E, 1992, Las aguas subterráneas en el DR - 014, Río Colorado, México, Gerencia en el Estado de Baja California, CNA, 45 pp.
- Paredes, A E, 1994, Las aguas subterráneas en el DR - 014, Río Colorado, México, Gerencia en el Estado de Baja California, CNA, 62 pp.
- Sabol G V, Bouwer H, and Wierenga P J, 1987, Irrigation effects in Arizona and New Mexico, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, V 113, No 1.
- Whiteford, S, and Cortez, A, 1996, Conflictos urbanos - rurales sobre el agua del río Colorado en el ámbito internacional, México, Momerías del Seminario Internacional sobre la Gestión Eficiente del Agua, Aguascalientes, pp 121-153.
- Sánchez Díaz L.F. y Gutiérrez Ojeda C., 1998, Hidrogeoquímica de La Mesa Arenosa, XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México, Octubre, 1998.