

CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: BASE PARA UNA GESTIÓN CORRECTA DEL RIEGO Y FERTIRRIEGO.

Bermejillo, A.; L. Marti; C. Salcedo; J. Llera; M. Filippini, D. Cónsoli; A.Valdés; M. Venier; S. Troilo

Cátedra Química Agrícola, Departamento Ingeniería Agrícola, F.C.Agrarias, UNCuyo – Altte Brown 500, Chacras de Coria, Mendoza. e-mail: abermejillo@fca.uncu.edu.ar

RESUMEN

El conocimiento de la calidad del agua subterránea, obtenida del estudio de las perforaciones de los últimos años (2004/2009) es de suma importancia, ya que en la provincia de Mendoza (Argentina), el sistema de explotación de agricultura intensiva es bajo riego, las aguas subterráneas contribuyen al riego de cultivos con una dotación similar al aporte de agua superficial del Río Mendoza.

En esta provincia la actividad agrícola se concentra en los oasis productivos donde todas las explotaciones dependen exclusivamente del riego. Aproximadamente un 70 % de las propiedades utilizan agua subterránea, 50% conjuntamente con el agua superficial y el resto únicamente subterránea.

Esta participación tan importante induce a prestar especial atención en su aptitud agronómica y en la evolución de sus características a través de importantes períodos de tiempo.

En este trabajo se analizaron las características fisicoquímicas y la aptitud agronómica, en un número representativo de pozos perforados durante el período 2004/2009.

Sobre una base de 356 muestras se ha evaluado su calidad y aptitud agronómica a través de los siguientes análisis físico-químicos: conductividad eléctrica: actual (CEA) y efectiva (CEE), residuo salino y sales totales, pH, cationes: calcio y magnesio (por complexometría); sodio y potasio (por fotometría de llama), aniones: carbonato y bicarbonato (método Warder); cloruro (método Mohr) y sulfato (método del clorhidrato de bencidina). Se clasificaron según Riverside modificación Thorne-Peterson y según Wainstein, se obtuvo el coeficiente de álcali, RAS, RASP y las durezas: total, temporaria y permanente.

Los resultados obtenidos a través de la estadística descriptiva indican que el 93.5% son aptas para el riego de todo tipo de cultivos, siendo clasificadas por Wainstein como C1 (1.69%), C2 (26.12%), C3 (48.88%) y C4 (16.85%). Se observa también que las mejores aguas se encuentran en Valle de Uco. Los principales problemas se observan en la zona Este, en los departamentos de La Paz, Santa Rosa y Rivadavia. El 96,4% de las aguas están dentro de la clasificación de Riverside S1, bajo riesgo sódico. Los valores de pH se encuentran en un 83.7% entre 6.0-7.5, siendo los valores extremos 5.66 y 8.25. La dureza total encontrada fue, hasta 20°F el 20.5 % de las muestras, entre 21- 40°F el 51.4% y más de 40°F el 27.5%. Respecto al coeficiente de álcali, más del 67% presenta valores de $k > 18$ (*buena*) y solo un 2,5% valores $k < 6$ (*mediocre*).

Palabras clave: aptitud agronómica – aguas subterráneas – oasis irrigados

INTRODUCCIÓN

En la Provincia de Mendoza (Argentina), dado el sistema de explotación de agricultura intensiva bajo riego, las aguas subterráneas contribuyen al riego de cultivos con una dotación similar al aporte de agua superficial del Río Mendoza, lo cual denota su gran importancia cualitativa. Este reservorio subterráneo de agua estimado en 22.000 Hm³ (15 veces la capacidad de los embalses construidos) aseguran el papel de regulación plurianual de los recursos hídricos, permitiendo a la provincia de Mendoza superar los periodos de sequía (Fasciolo, 2002).

En el sistema de cultivo de la provincia, existen numerosas explotaciones agrícolas que no poseen derecho de riego y por lo tanto dependen exclusivamente de las aguas subterráneas. En otros casos las dotaciones de agua aportadas por los derechos de riego no son suficientes para las necesidades hídricas de los cultivos y las mismas deben reforzarse, en distintas proporciones, con aguas subterráneas. También dependen total o parcialmente de las aguas de este origen, los cultivos de otoño invierno que vegetan en coincidencia con los períodos de corta anual del agua de riego superficial, que se realiza todos los años entre los meses de mayo y agosto con el fin del mantenimiento de los cauces de riego.

Esta participación tan importante induce a prestar especial atención a la aptitud agronómica de las aguas subterráneas y a la evolución de sus características a través de importantes períodos de tiempo.

La cantidad de perforaciones existentes en Mendoza se ha incrementado, llegando a existir más de 25.000 registros en la provincia. De éstos, aproximadamente 1000 pozos corresponden a los últimos 5 años, donde ha ido aumentando progresivamente las profundidades de explotación.

En este proyecto se busca establecer si en el tiempo se ha modificado la calidad o la aptitud agronómica de aguas subterráneas de Mendoza, para lo cual se han estudiado un número representativo de pozos perforados durante el período 2004/2009 analizando las características fisicoquímicas de las aguas (CEA, pH, aniones y cationes, RAS) y su aptitud agronómica.

Los datos y conclusiones obtenidos y su comparación con trabajos similares realizados por parte de este equipo de investigación, desde el año 1997, son de importancia para detectar variaciones, en los distintos departamentos, que aportarán datos imprescindibles para productores e inversores que planifican emprendimientos agrícolas en Mendoza, ya que de esta manera se dispondrá de información referencial sobre profundidades medias de las distintas napas subterráneas y sobre la calidad agronómica de las aguas disponibles.

El conocimiento de la calidad de este recurso en las nuevas explotaciones, consolidan las bases para una buena gestión del riego tanto tradicional (superficial) como presurizado, asegurando la conservación del recurso suelo, necesario para una producción sostenible en el tiempo.

Los objetivos de este trabajo son:

- Evaluar la calidad y aptitud agronómica de las aguas subterráneas correspondientes a perforaciones realizadas en Mendoza en la serie temporal 2004/2009.
- Analizar los datos obtenidos en esta serie con los correspondientes a la serie realizada por mismo equipo de investigación en períodos anteriores

Se parte de la hipótesis que los datos analíticos físico-químicos completos y sistematizados, de gran parte de las perforaciones realizadas en distintos departamentos de Mendoza, permitiría disponer de información confiable, respecto al recurso agua, para decidir inversiones en nuevas explotaciones agrícolas y en explotaciones agrícolas ya establecidas, estableciendo las bases para una correcta gestión del riego y fertirriego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre un total de 356 muestras de agua provenientes de perforaciones realizadas por empresas locales y profesionales independientes, entre enero 2004 y diciembre de 2009, se efectuaron las siguientes determinaciones:

- Conductividad eléctrica (CE): actual (CEA) y efectiva (CEE)
- Residuo Salino y Sales Totales
- pH
- Cationes: calcio y magnesio (por complexometría); sodio y potasio (por fotometría de llama)
- Aniones: carbonato y bicarbonato (por volumetría ácido base, método Warder); cloruro (por volumetría, método Mohr) y sulfato (volumétrico con clorhidrato de bencidina)
- Calificación de aptitud por escala Riverside [modificación Thorne-Peterson] y calificación de aptitud regional por escala Wainstein
- Calificación por coeficiente de álcali “K” (Hardman-Miller 1934)
- Relación de absorción de Sodio (RAS)
- Relación de absorción de sodio potencial (RASP)
- Durezas: total, temporaria y permanente

La totalidad de los datos se analizaron a través de la estadística descriptiva, permitiendo la caracterización del agua extraída en las distintas zonas dentro la provincia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se menciona en numerosos estudios realizados, la calidad del agua subterránea ha disminuido a lo largo del tiempo. El estudio de las variaciones que se han producido es de suma importancia debido a la gran relevancia cuantitativa que tiene este recurso. Se pone de manifiesto la necesidad de su estudio, para permitir el control de su uso y sobre todo preservarlo de la contaminación, salinización y sobre-explotación.

En la provincia, el reservorio que tiene mayor explotación es el que corresponde al embalse subterráneo Norte. En la cuenca Norte el acuífero se subdivide en libre (de mayor rendimiento y gran profundidad) y en confinado (menos productivo pero más cercano a la superficie). En la transición de ambos acuíferos existe un área de surgencia de unos 250 km². En los acuíferos confinados y semiconfinados se han identificado tres niveles principales de extracción de agua subterránea en correspondencia con tres niveles de subsuelo donde se ubican los paquetes sedimentarios más permeables.

La figura 1 representa las muestras analizadas según el departamento en donde se realizó la perforación. Se observa que un 16,6% pertenecen al departamento de Maipú. Le siguen en orden decreciente los departamentos de San Martín (15,7% de las muestras), Luján (11,8%), Lavalle (11,2%), Tunuyán (11,2%) y San Carlos (6,7%). Por el contrario, en Godoy Cruz y la Paz son los departamentos donde menor número de perforaciones se analizaron (0,3% en cada caso), concordando con un menor número de pozos perforados en el período analizado.

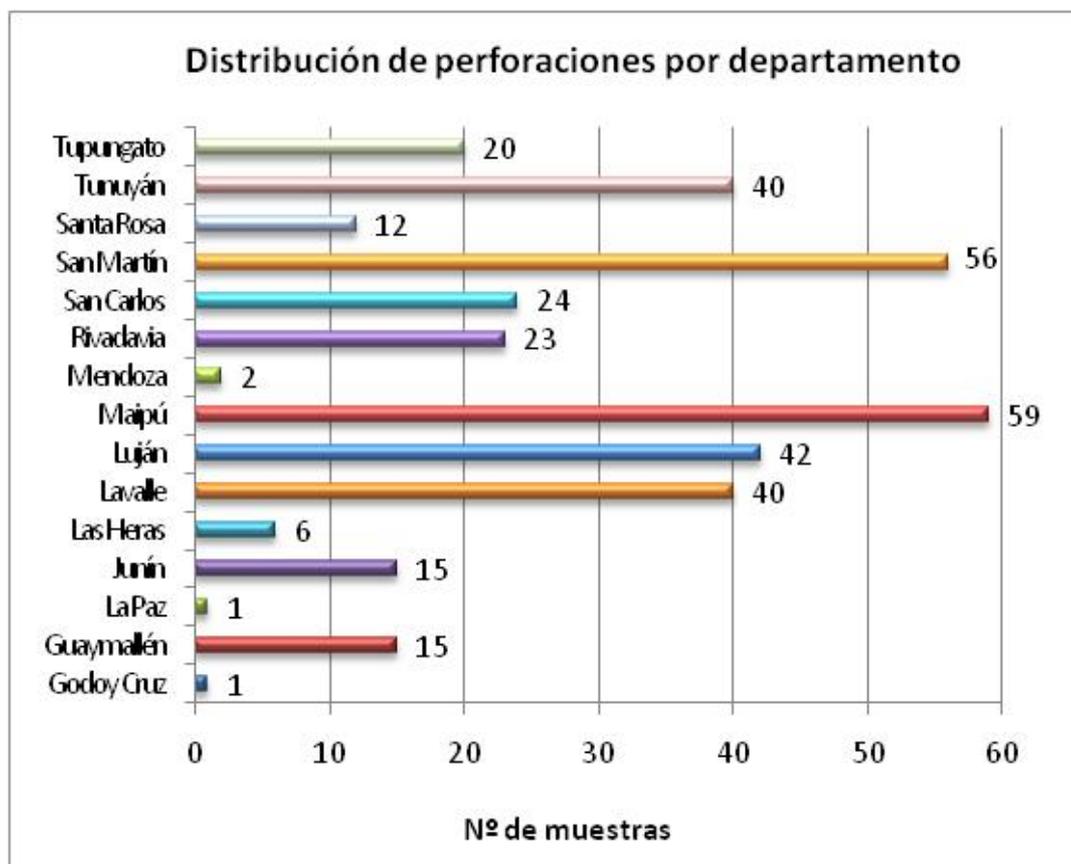


Figura 1. Distribución de las muestras de agua por departamento

La profundidad a la cual se han realizado las perforaciones es un dato relevante para tener en cuenta, ya que se observa que este parámetro se ha modificado en los últimos años, explorando cada vez acuíferos más profundos, especialmente en la zona correspondiente al oasis norte de Mendoza, en la Subcuenca del Río Tunuyán Inferior (zona este de la Provincia). En las figuras 2 y 3 se representa la variable profundidad, observando las profundidades alcanzadas en las perforaciones analizadas y su distribución por departamento.

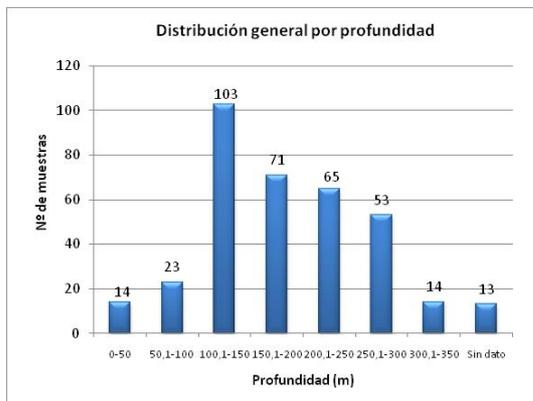


Fig 2. Profundidades de las perforaciones

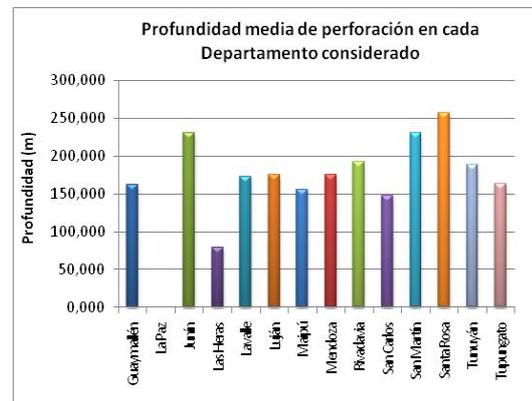


Fig. 3. Profundidad media por departamento

Se sabe que los tres niveles de acuíferos existentes se ubican a diferentes profundidades: aproximadamente hasta los 80 metros se ubica el primer nivel, de 100-180 metros el segundo nivel y a más de 200 metros aparece el tercer nivel de explotación.

La salinización del 1^{er} nivel es difícil de evitar ya que el lixiviado de las sales del suelo irrigado, que percola con los excedentes del riego lo deterioran progresivamente. Dicho proceso depende de la eficiencia de riego y de la necesidad de lavar los suelos para mantener bajos los niveles de salinidad en el área de exploración de raíces de los cultivos.

En el 2^{do} nivel, los valores de CE están en general entre 700 y 1.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Hacia el Este la CE adquiere gradualmente valores mayores, hasta 4.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, que podría deberse a causas como sobre explotación de acuíferos, mala construcción de perforaciones y roturas en perforaciones por procesos de corrosión y en algunos casos los provocados por movimientos sísmicos.

El 3^{er} nivel es el menos expuesto a los procesos de contaminación de origen exógeno, los valores más altos corresponden a la zona este de San Martín y Santa Rosa.

Se observa que si bien el 28,93% de las perforaciones han alcanzado profundidades en el rango de los 100 a 150 metros, existe un 37% de perforaciones que han superado esa profundidad, situación que no se observaba hace algunos años atrás. Solo un 10% de los pozos se realizaron en el primer nivel de explotación de los acuíferos subterráneos (menos de 100 metros).

Del análisis correspondiente al contenido de sales se desprende que un 32% de las aguas se encuadran en el intervalo de 601 a 900 mg/L y un 30% entre 301 a 600 mg/L. También se destaca que un 2,81% de las muestras poseen entre 2101 a 3500 mg/L, situación que no se encontraba hace algunos años, es decir que el contenido salino de las aguas ha aumentado a través del tiempo como puede observarse en la figura 4. En la misma se observa que el 34% de las muestras presentan el pH entre 7,1 a 7,5 y solo un 2,8% quedan fuera del intervalo 6,01 a 8, lo cual indica que el mismo es adecuado.

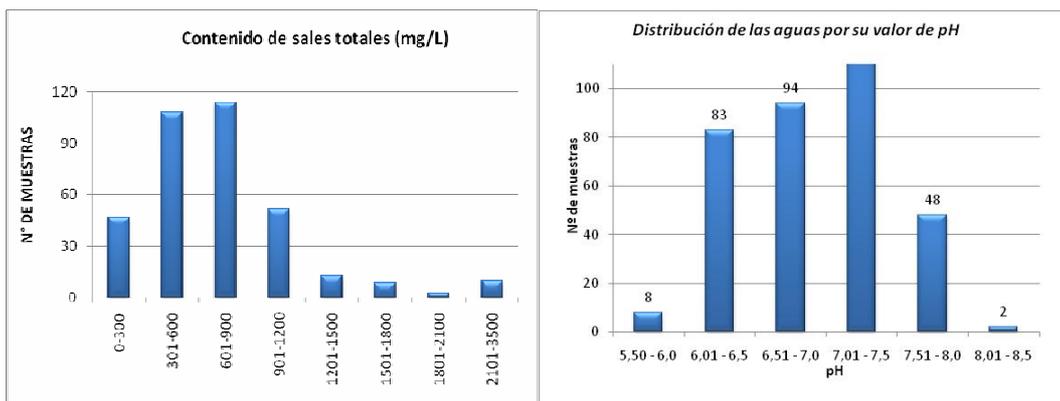


Figura4. Distribución de las muestras por contenido salino del agua y por su pH

Otro parámetro de calidad analizado fue la conductividad eléctrica actual, que se presenta en la figura 5, la cual tuvo la siguiente distribución: un 39,88% de las muestras presentan valor entre 700,1 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, un 20,87% entre 1000,1 a 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el 10,59% entre 1300,1 a 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A pesar de que la mayoría de las muestras se encuadran en dicho intervalo, se destaca que un 3,43% de las muestras analizadas presentaron conductividades elevadas, entre 2500,1 a 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, poniendo de manifiesto que existen perforaciones de elevados valores de conductividad eléctrica, como se observa en el gráfico 5. Dicha variable está íntimamente relacionada con la zona en la cual se llevó a cabo la perforación lo cual queda puesto de manifiesto en la figura 6.

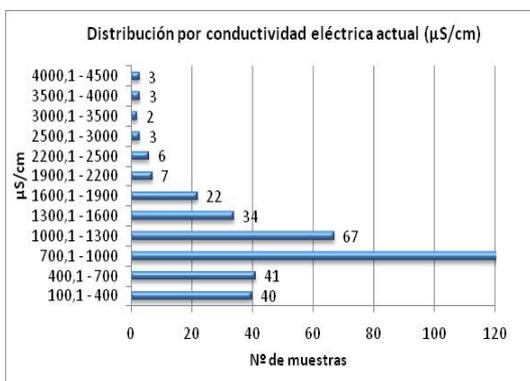


Figura 5. Muestras según su CEA

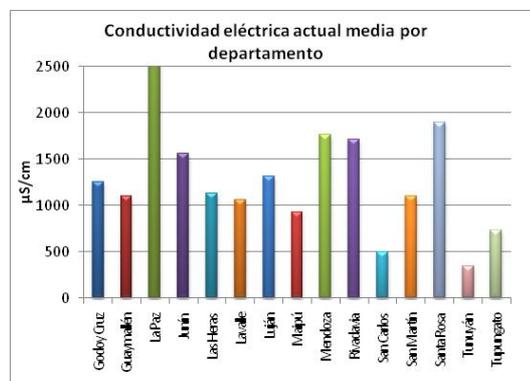


Figura 6. CEA media por departamento

Como puede observarse los departamentos en los cuales este parámetro de calidad se hace sumamente importante por los altos valores obtenidos son: La Paz, Santa Rosa, Rivadavia.

De acuerdo con la clasificación de Riverside modificación Thorne-Peterson, el 67,98% de las muestras pertenece a la categoría C3 (750 a 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, "salinidad mediana"), como se demuestra en la figura 7. Un inconveniente de la mencionada clasificación es la excesiva amplitud del rango que comprende esta categoría, en la que se agrupan aguas con hasta un 300 % de diferencia en su contenido salino. Para la Categoría antes mencionada, se indica que "las aguas son únicamente utilizables en suelos de moderada a buena permeabilidad, siendo necesario aplicar regularmente riegos de lavado para prevenir peligrosas acumulaciones salinas. Los cultivos deben ser de moderada a buena tolerancia a la salinidad."

Otra clasificación utilizada es la clasificación Regional de Wainstein la cual está adaptada a la zona de estudio, ya que tiene en cuenta las sales de mediana solubilidad (carbonato de calcio y/o magnesio y sulfato de calcio) que se encuentran mayoritariamente en las aguas de Mendoza y además tiene la ventaja de tener subdividida las categorías C3 y C4 de Riverside (Thorne-Peterson) en tres y dos categorías respectivamente, dando mayor información en cuanto a calidad y manejo del agua.

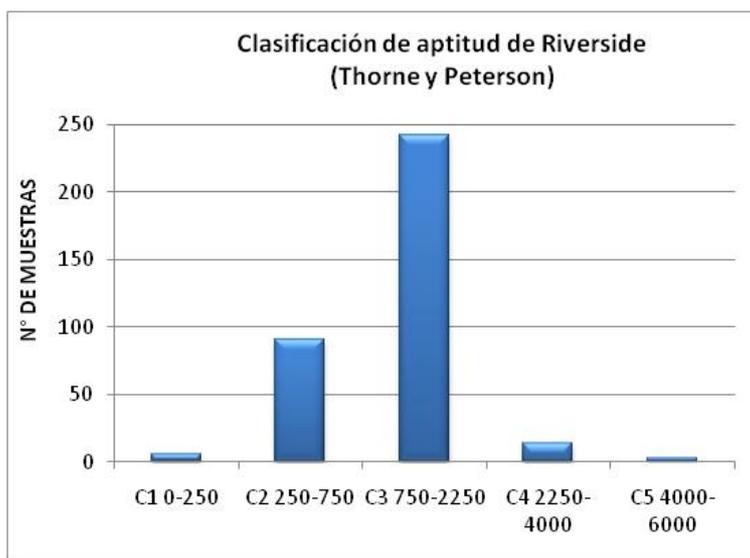


Figura 7. Clasificación de las aguas por Wainstein (según CEE)

Por lo indicado anteriormente, teniendo en cuenta el tipo de sales presentes en el agua (aniones, cationes), se calculó la CEE de cada muestra y se utilizó la clasificación regional de Wainstein. En dicha clasificación el 48,88% de las muestras se incluyen en la categoría C3, un 26,12% pertenecen a la C2 y el 16,85% a la C4. Esto da una mejor idea de la calidad del agua que se dispone para el riego. Los resultados se representan en la figura 8.

El hecho de disponer los valores de CE como así también los contenidos de Ca y Mg, permite hacer los correspondientes cálculos de requerimientos de lixiviación necesarios para asegurar la calidad del suelo donde se utilizará el agua para riego, de manera de lograr cosechas con rendimientos sustentables en el tiempo.

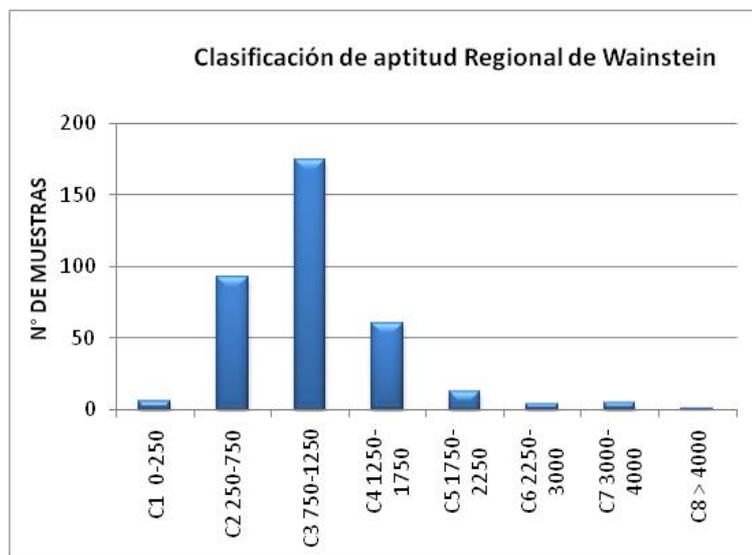


Figura 8. Clasificación de las aguas por Wainstein (según CEE)

Otro parámetro de calidad en lo que respecta al riesgo sódico es el Coeficiente de Álcali (K), el cual califica las aguas simultáneamente por su peligro salino y por su peligro sódico. En la figura 9 se muestran los resultados, donde se observa que el 67,7% presenta un coeficiente K mayor a 18,1 (considerado bueno) y un 29,78% se presenta valores entre 6,1 a 18 (tolerables).

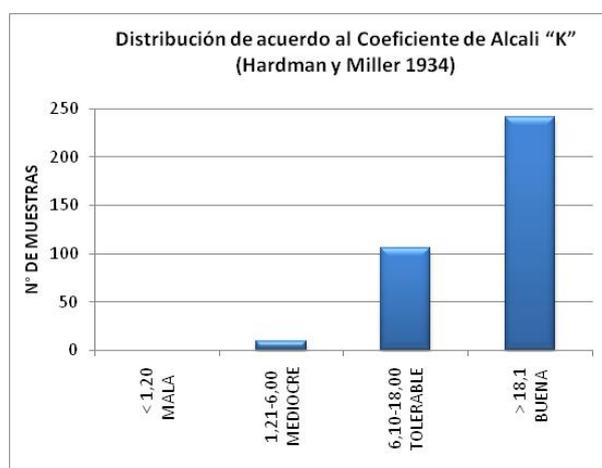


Figura 9. Distribución de las muestras por su coeficiente K

Otra manera de evaluar la sodicidad es la relación de absorción de sodio, la cual indica la peligrosidad sódica de un agua de riego al relacionar los tenores de Na con respecto a la cantidad de Ca+Mg, basados teóricamente en la Ley de Acción de Masas. Según la clasificación de Riverside existen 4 categorías de peligrosidad. Como puede observarse en la figura 10, el 85,9% de las muestras poseen un RAS menor o igual a 3, solo unas pocas muestras presentan RAS superiores, por lo cual puede indicarse que no existen problemas de riesgo sódico en las aguas analizadas.

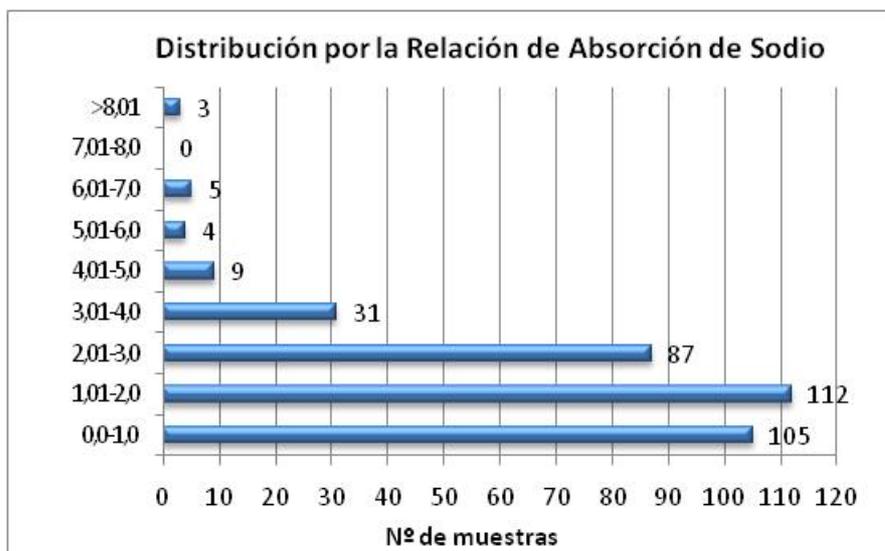


Figura 10. Distribución de las muestras de agua según el RAS.

La dureza de las aguas de nuestra región no tiene incidencia negativa en su aptitud para riego; por el contrario, se les asigna como buena característica el aporte de los macronutrientes secundarios: Ca, Mg y S. Las figuras 11 y 12 muestran la distribución de los valores de dureza total y permanente en las muestras de agua estudiadas. Se observa que el 26,69% de las muestras presenta una dureza total entre 20,1 a 30 y el 24,72% entre 30,1 a 40. Respecto a la dureza permanente, el 30,34% se encuentran en el intervalo entre 20,1 a 30 y el 24,44% entre 10,1 a 20.

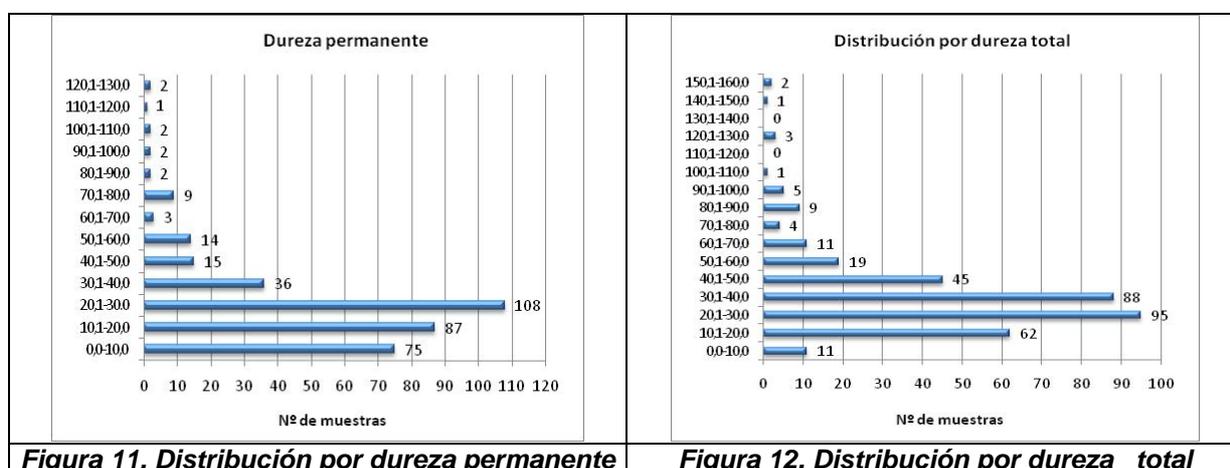


Figura 11. Distribución por dureza permanente

Figura 12. Distribución por dureza total

La dureza total está directamente relacionada con la conservación y el mantenimiento de los equipos de riego. Importantes cantidades de calcio y magnesio predisponen la obturación de todo tipo de emisores, viéndose perjudicada la eficiencia de los equipos de riego presurizado.

Por otra parte, las aguas en esta zona incorporan cantidades de calcio, magnesio y azufre que son muy importantes a la hora de formular las soluciones madres utilizadas en el fertirriego.

CONCLUSIONES

De los resultados presentados anteriormente, se desprenden e las principales conclusiones:

1. Más del 90% de las aguas subterráneas obtenidas en los departamentos de la provincia de Mendoza mostraron ser aptas para el riego de todo tipo de cultivo, pudiendo catalogarse como de muy buena calidad basados en la Clasificación Regional de Wainstein, en el Coeficiente de Alkali (K) y en la Relación de Adsorción de Sodio (RAS).
2. Los departamentos del Valle de Uco (Tunuyán, Tupungato y San Carlos) poseen las aguas de mayor calidad, considerando la totalidad de los parámetros físicoquímicos determinados; dentro de ellos el departamento de Tunuyán es el que presenta los mejores valores.
3. Excluyendo la zona del Valle de Uco, las aguas subterráneas de mayor calidad o aptitud agronómica se han obtenido en el Departamento de Maipú, mientras que las de peor calidad pertenecen a La Paz y a General Alvear.
4. En los departamentos del este de la provincia de Mendoza se requieren as mayores profundidades de perforación para la obtención de aguas de aceptable calidad, debido a fenómenos de contaminación progresiva de los acuíferos más superficiales.
5. En la zona de acuíferos confinados es de suma importancia realizar el cegado de los pozos inactivos y aquellos en actividad que deben ser reemplazados. También sería de gran importancia hacer un seguimiento y control de las perforaciones petroleras.
6. Hay que recordar que el uso de aguas con mayor contenido de sales implica mayores requerimientos de lixiviación y por ende mayor consumo de agua lo que trae aparejado mayor lixiviación de nitratos a las napas inferiores y un manejo diferente de la fertilización.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, A.** (1985). Evaluación hidroquímica del recurso hídrico de la zona norte de la Provincia de Mendoza. CRAS - D159. San Juan.
- Álvarez, A.** (1994). Avance en el conocimiento hidroquímico de la cuenca centro. Provincia de Mendoza. CRAS - D141. San Juan.
- Álvarez, A.** (2000). Salinización de acuíferos en la cuenca norte de la Provincia de Mendoza. Un problema de gestión de los recursos hídricos totales. INA-CRA - IT3, Mendoza.
- Álvarez, A.; J. Villalba** (2001). Evaluación de la salinidad del agua subterránea en la cuenca del Valle de Uco. Provincia de Mendoza. (INA – CRA) - IT N° 6, Mendoza.
- Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS)** (1996). Mapa hidrológico de la Provincia de Mendoza, escala 1: 500.000. San Juan.
- Guía de Trabajos Prácticos** de Química Agrícola – Agua: Aptitud para Riego. (1998). Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.

- Martí, L et al** (2003). Características físico químicas y aptitud agronómica de aguas subterráneas de Mendoza (Argentina) - período 1997/2002 Revista Facultad de Ciencias Agrarias
- Métodos Normalizados para Análisis de Aguas.** (APHA, AWWA, WPCF). (1992) - Ediciones Díaz Santos S.A.
- Official Methods of Analysis** of AOAC International –(1995) 16 th Edition – Volumen I
- Pazos, J.; J. Bartolomeo, O. Ortiz ; H. Herrada** (1988). Evaluación del estado hidrológico de la cuenca norte de Mendoza - Provincia de Mendoza. CRAS - DI 116. San Juan.
- United States Department of Agriculture** – Soil Conservation Service Manual de riego. Relaciones: suelo-agua-planta. Sec.15 Chapter 1. Traducción española de la Div. de Edafología.
- United States Salinity Laboratory Stass.** (1975) Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. USA Handbook 60 L.A. Richard Editor. Versión española. México.
- Vivas, J.** (1984). Variación salina y obtención sistemática de datos hidroquímicos del agua subterránea en la zona de Mendoza Sur. CRAS - D138. San Juan.
- Wainstein, P.** (1969) Clasificación de las aguas de riego de Mendoza. Informe científico y técnico N°15. Instituto de Suelos y Riego. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.
- Zambrano, J.** (1985). Regionalización hidrogeológica preliminar de la Provincia de Mendoza. CRAS - D155. San Juan.