



CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y APTITUD AGRONÓMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PERÍODO 1997-2001 (MENDOZA-ARGENTINA)

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF UNDERGROUND
WATER AND ITS SUITABILITY FOR IRRIGATION
1997-2001 (MENDOZA-ARGENTINA)

Luis Martí¹
Joaquín Llera²

Carlos Salcedo¹
Analía Valdés¹

Originales
Recepción: 22/04/2002
Aceptación: 06/09/2002

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue establecer las características físico-químicas y la aptitud agronómica de aguas subterráneas de la Provincia de Mendoza, correspondientes a perforaciones realizadas en el período 1997/2001. Se analizaron 206 muestras de aguas subterráneas provenientes de 15 departamentos de la provincia, para determinar -analíticamente o por cálculo- diversos parámetros físicoquímicos y de aptitud agronómica.

El 90 % de las aguas estudiadas resultó apto para el riego de todo tipo de cultivos y fue considerado de buena calidad de acuerdo con los criterios utilizados. En el Este de la provincia, debido a la contaminación de los acuíferos superficiales, se determinó que se requiere mayor profundidad para acceder a calidades aceptables. Los departamentos de Tupungato, Tunuyán y San Carlos, del Valle de Uco, poseen las aguas de mejor calidad, sobresaliendo Tunuyán. Excluida dicha zona, la mayor aptitud agronómica del agua se detectó en Maipú, mientras que la peor la detentan los departamentos de La Paz y General Alvear.

Palabras clave

aguas subterráneas • características físicoquímicas • aptitud agronómica • Mendoza

ABSTRACT

The aim of the study was to determine some physicochemical characteristics of groundwater in Mendoza Province, as well as its agronomic suitability. A total number of 206 samples were collected from wells dug in the period 1997-2001, from 15 different departments and analyzed for several parameters.

The results showed that almost 90% of the waters were suitable for irrigation in all kind of crops and of a very good quality based on specific criteria. In the Eastern region of Mendoza acceptable water quality was found only in deep aquifers. In this region those aquifers closer to the surface have undergone continuous contamination processes. The Valle de Uco region, comprising Tunuyán, Tupungato and San Carlos, boasts the highest water quality according to all parameters, with Tunuyán at the top. Maipú has agronomically suitable waters too, being second only to the Valle de Uco region. La Paz and General Alvear, on the other hand, ranked as the poorest groundwater quality.

Key words

underground water • physicochemical characteristics • suitability for irrigation • Mendoza

1 Departamento de Ingeniería Agrícola; 2 Departamento de Biomatemática y Físicoquímica Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo. Alte. Brown N° 500. Chacras de Coria. Mendoza. Argentina. M5528AHB. ccea@fca.uncu.edu.ar

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. Esta participación tan importante induce a prestar especial atención a su aptitud agronómica.

Desde 1953 hasta 2001 se efectuaron 21 000 perforaciones en Mendoza, de las cuales sólo 9 817 se encuentran activas. El 82 % se localiza en la zona norte de la provincia, un 15 % corresponde a la zona centro y sólo el 3 % a la zona sur.

A pesar del problema que representa la disminución de la calidad del agua por salinización, no hay información fehaciente sobre dicha situación, ni se registran estudios sistematizados con muestras procesadas estadísticamente. Para suplir dicha carencia se encaró la determinación de características fisicoquímicas y la aptitud agronómica de aguas subterráneas de Mendoza, en pozos perforados durante el período 1997/2001.

Objetivo

Establecer las características físico-químicas y la aptitud agronómica de aguas subterráneas de Mendoza correspondientes al período 1997/2001.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre un total de 206 muestras de agua provenientes de perforaciones realizadas por una empresa local de servicios, entre julio de 1997 y mayo de 2001, se efectuó las siguientes determinaciones (1, 2 y 4):

- 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 (por volumetría ácido base, método Warder); cloruro (por volumetría, método Mohr) y sulfato (empleando clorhidrato de bencidina)
- calificación de aptitud Riverside [modificación Thorne-Peterson (3)] y calificación de aptitud regional (Wainstein) (6) ©
- K (coeficiente de álcali, Hardman-Miller 1934 ©);
- RAS (Relación de Absorción de Sodio) © y RASP (Relación de Absorción de Sodio Potencial) ©
- durezas: total, temporaria y permanente ©

* Dato calculado

RESULTADOS

En la siguiente tabla se consignan los valores de estadígrafos con los límites correspondientes al intervalo de confianza ($\alpha = 0.05$). No se incluyen los valores medios de los departamentos de Godoy Cruz, La Paz y Las Heras debido al reducido número de muestras en cada uno de ellos (< 3).

Tabla 1. Valores medios e intervalos de confianza por departamento

Depto.	Prof. m	CEA µS/cm	CEE	pH	Sales totales mg/l	Residuo salino mg/l	RAS	Coef. K	Dureza total (°F)
Gral Alvear	137.7 ± 22.07	2367 ± 504.58	2230 ± 631.67	6.73 ± 0.49	1739.50 ± 420.96	1744.88 ± 451.29	6.65 ± 2.90	6.72 ± 1.82	54.7 ± 14.05
Guaymallén	125.8 ± 39.06	1259 ± 128.09	1239 ± 114.35	6.93 ± 0.15	877.67 ± 101.08	847.25 ± 98.48	0.82 ± 0.21	18.05 ± 1.84	55.3 ± 6.04
Junín	198.1 ± 50.86	1399 ± 419.96	1296 ± 275.43	6.83 ± 0.16	996.10 ± 329.62	964.57 ± 296.52	1.74 ± 0.44	18.33 ± 3.90	52.9 ± 18.20
Lavalle	148.2 ± 27.77	1047 ± 171.80	1020 ± 144.04	6.88 ± 0.14	754.18 ± 151.28	704.00 ± 121.48	2.01 ± 0.50	21.88 ± 4.08	36.0 ± 8.76
Luján	181.5 ± 36.60	1079 ± 346.23	1009 ± 243.45	7.13 ± 0.15	771.07 ± 263.28	723.87 ± 258.64	1.51 ± 0.41	26.47 ± 5.64	40.9 ± 14.01
Maipú	148.3 ± 19.89	964 ± 89.46	950 ± 80.48	6.90 ± 0.12	684.62 ± 64.42	642.83 ± 63.10	1.15 ± 0.18	27.05 ± 1.94	38.8 ± 4.73
Rivadavia	218.0 ± 41.78	1254 ± 107.67	1228 ± 85.63	6.96 ± 0.14	857.14 ± 84.87	852.70 ± 78.08	1.33 ± 0.35	19.30 ± 1.91	48.4 ± 5.08
San Carlos	141.5 ± 26.05	717 ± 328.18	685 ± 291.84	6.93 ± 0.23	514.31 ± 230.98	483.83 ± 230.14	1.55 ± 1.57	73.05 ± 34.12	25.2 ± 12.78
San Martín	221.3 ± 21.56	1080 ± 143.05	1045 ± 111.69	7.03 ± 0.15	750.90 ± 106.93	728.24 ± 104.15	1.89 ± 0.20	21.98 ± 2.79	37.1 ± 6.42
Santa Rosa	233.8 ± 41.98	1750 ± 725.26	1578 ± 458.32	7.00 ± 0.60	1230.66 ± 582.49	1266.33 ± 637.92	2.67 ± 1.86	11.01 ± 3.99	60.0 ± 27.39
Tunuyán	152.7 ± 30.14	372 ± 67.94	372 ± 67.94	7.18 ± 0.31	268.94 ± 47.79	244.00 ± 46.98	0.61 ± 0.29	129.29 ± 42.83	14.4 ± 2.99
Tupungato	170.1 ± 24.75	554 ± 81.07	554 ± 81.07	6.87 ± 0.19	389.39 ± 60.87	359.80 ± 57.84	0.74 ± 0.30	75.80 ± 17.48	22.1 ± 3.49

En la figura 1 se destaca que Maipú y San Martín presentan el mayor número de perforaciones: 38.3 % del total.

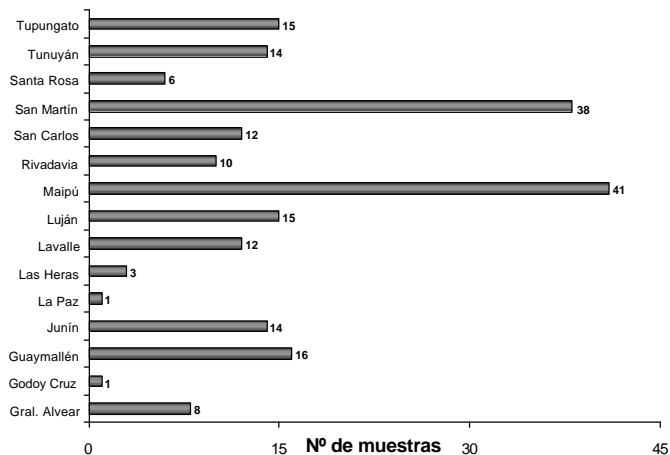


Figura 1. Distribución de perforaciones por departamento

Los pozos más profundos se encuentran ubicados en departamentos del este mendocino: Santa Rosa, San Martín y Rivadavia, con medias de 235, 220

y 218 m, respectivamente. No obstante la mayor profundidad, no se han obtenido allí las aguas con menores contenidos salinos, lo que evidencia que paulatinamente se han ido salinizando acuíferos más profundos. El Departamento de La Paz, ubicado también en el Este mendocino, no se corresponde con los datos anteriores, pues está representado solamente por una perforación, situada a 80 m de profundidad y con una calidad de agua inferior.

Profundidad (m)	% muestras
<50	2.9
100 - 120	50.5
200 - 300	31.5
> 300	1.45

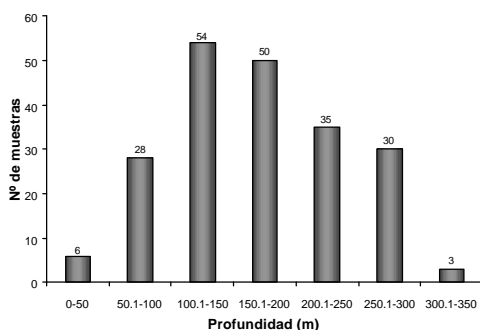


Figura 2. Distribución general de perforaciones por profundidad.

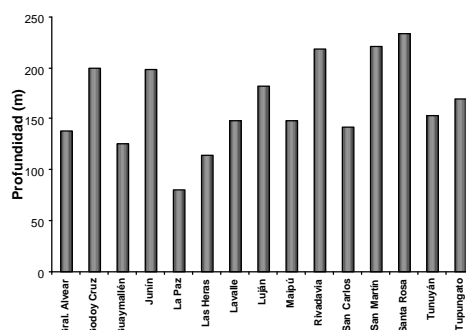


Figura 3. Profundidad media de perforación en cada departamento.

En el departamento de Tunuyán, la profundidad promedio de las perforaciones es del orden de 150 m, destacando la mejor calidad de agua puesto que en el contenido salino los valores promedio de CEA son inferiores a 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

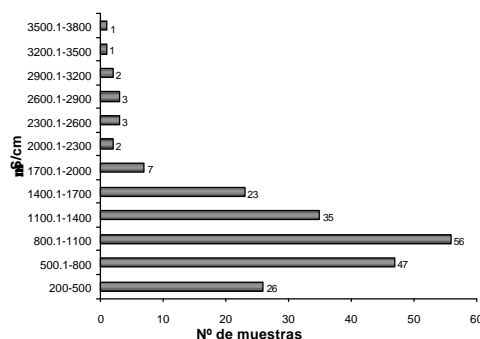


Figura 4. Distribución por conductividad eléctrica actual ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

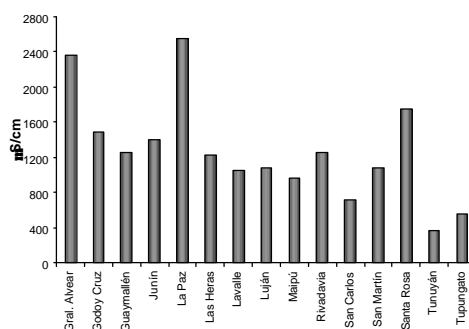


Figura 5. Conductividad eléctrica actual media por departamento.

A continuación se presentan los porcentajes de muestras ubicados en diferentes rangos de CEA.

CEA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Departamentos	% muestras
200 - 500	Tunuyán, Tupungato y San Carlos	12.6
500 - 1400	Tunuyán, Tupungato y San Carlos	67
> 1400	Gral. Alvear, La Paz y Sta. Rosa	20

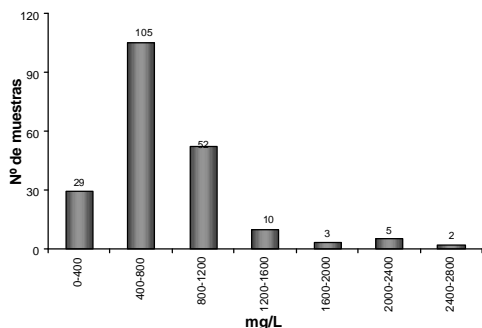


Figura 6. Contenido de sales totales.

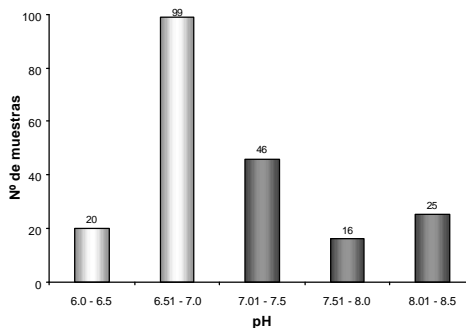


Figura 7. Distribución de las aguas según su pH.

pH	% muestras
< 7	58
> 7	42
Rango mínimo 6 – 6.5	9.7
Rango máximo 8 – 8.5	12

Las aguas de menor pH -en su mayoría correspondientes a los departamentos del Valle de Uco- son más adecuadas para irrigar suelos calcáreos alcalinos y también favorecen la disolución y aplicación de plaguicidas.

Para juzgar la aptitud de las aguas en cuanto a sus características para uso agrícola existen conocidas clasificaciones. A continuación se presentan dos de las más utilizadas: las de Riverside y la de Wainstein.

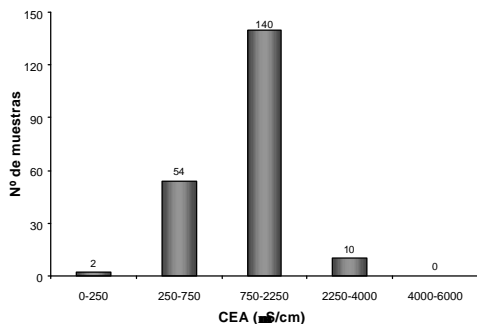


Figura 8. Clasificación de aptitud de Riverside (Thorne y Peterson).

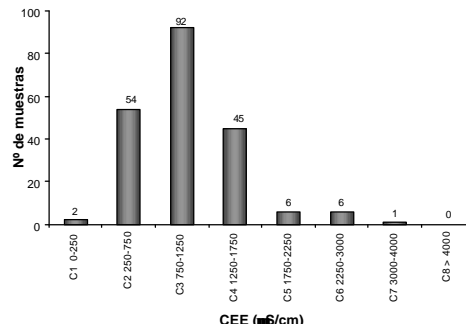


Figura 9. Clasificación de aptitud regional de Wainstein.

De acuerdo con dichas clasificaciones, el 68 % de las muestras pertenece a la categoría C3 de la clasificación de Riverside modificación Thorne-Peterson (750 a 2250 µS/cm, "salinidad mediana"). Un inconveniente de la mencionada clasificación es su excesiva amplitud, en la que se agrupan aguas con hasta un 300 % de diferencia en su contenido salino. En el caso de las muestras antes mencionadas, 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.

La clasificación regional de Wainstein es importante porque tiene en cuenta las sales de limitada solubilidad (carbonato de calcio y magnesio y sulfato de calcio) que se encuentran mayoritariamente en las aguas de Mendoza. Además subdivide las categorías C3 y C4 de Riverside en tres y dos respectivamente, dando mayor información en cuanto a calidad y manejo del agua.

Categoría	CEE (mg/cm)	% muestras	Aptitud agronómica de las aguas
4	1250-1750	22	Mayores exigencias de drenaje y riegos de lavado.
3	750-1250	44.6	Riego de todo cultivo Plantas muy sensibles en suelos de mediana a buena permeabilidad; en su defecto, riegos periódicos de lavado.
2	250-750	26.2	Plantas muy sensibles en suelos de mediana a buena permeabilidad; en su defecto, riegos periódicos de lavado.
1	<250	7.2	Restricciones en los cultivos implantables.

El coeficiente de álcali (K) se interpreta como el número necesario de riegos de 300 mm de lámina, cuyas sales deben acumularse en 15 cm de espesor del suelo, para que ese aporte de sales equivalga al 0.5 % del peso de la capa de suelo y de una nocividad equivalente al ClNa.(6). Esto significa que cuanto mayor sea el valor K mejor es el agua de riego.

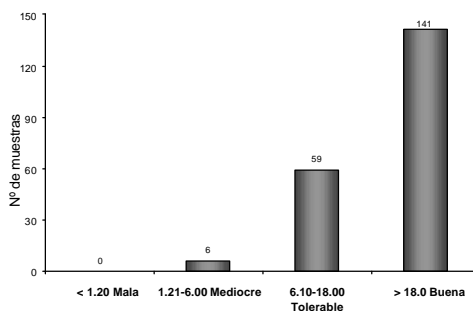


Figura 10. Distribución de acuerdo al coeficiente de álcali (K) (Hardman y Miller, 1934).

Un parámetro para determinar la peligrosidad sódica de un agua de riego es el RAS que relaciona los tenores de Na y Ca+Mg, basados teóricamente en la Ley de Acción de Masas. Según la clasificación de Riverside existen 4 categorías de peligrosidad sódica:

- S1 (Baja, RAS 2-10)
- S2 (Mediana, RAS 10-18) hasta 2-6 según peligrosidad salina
- S3 (Alta, RAS 18-26) hasta 6-10 según peligrosidad salina
- S4 (Muy alta, RAS más de 26) hasta 10 según peligrosidad salina

El 92,7% de las muestras (191 muestras) presenta valores de RAS entre 0 y 3; solamente unas pocas muestras aisladas presentan valores de RAS superiores, pudiendo estar incluidas en las categorías S2 o S3.

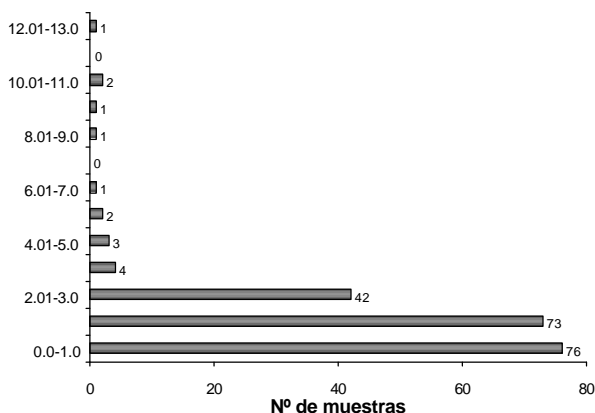


Figura 11. Distribución por la Relación de Adsorción de Sodio (RAS).

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.

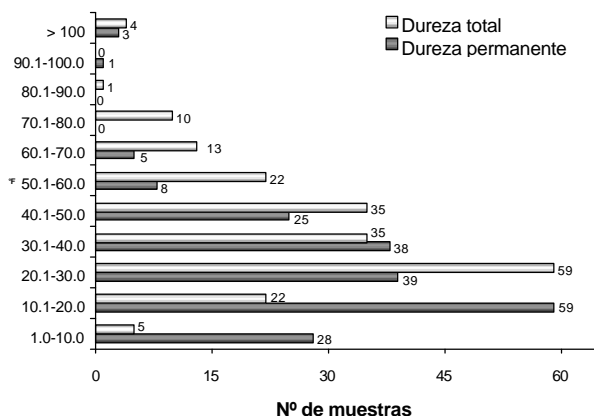


Figura 12. Distribución por dureza total y permanente.

CONCLUSIONES

- ❖ Más del 90 % de las aguas subterráneas obtenidas en 15 departamentos de la provincia de Mendoza (Argentina) 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).
- ❖ 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.

- ❖ 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.
- ❖ En los departamentos del Este de la provincia de Mendoza se requiere mayor profundidad de perforación para la obtención de aguas de aceptable calidad, debido a fenómenos de contaminación progresiva de los acuíferos más superficiales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, A. 1985. Evaluación hidroquímica del recurso hídrico de la zona norte de la Provincia de Mendoza. CRAS - D159. San Juan.
2. _____. 1994. Avance en el conocimiento hidroquímico de la cuenca centro. Provincia de Mendoza. CRAS - D141. San Juan.
3. _____. 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.
4. Álvarez, A. y Villalba, J. 2001. Evaluación de la salinidad del agua subterránea en la cuenca del Valle de Uco. Provincia de Mendoza. (INA - CRA) - IT N° 6, Mendoza.
5. Centro Regional de Aguas Subterráneas (CRAS). 1996. Mapa hidrológico de la Provincia de Mendoza, escala 1: 500.000. San Juan.
6. Guía de Trabajos Prácticos de Química Agrícola - Agua: Aptitud para Riego. 1998. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo.
7. Métodos Normalizados para Análisis de Aguas. (APHA, AWWA, WPCF). 1992. Ediciones Díaz Santos S.A.
8. Official Methods of Analysis of AOAC International. 1995. 16 th Edition - Volumen I.
9. Pazos, J.; Bartolomeo, J.; Ortiz, O. y Herrada, H. 1988. Evaluación del estado hidrológico de la cuenca norte de Mendoza. Provincia de Mendoza. CRAS. DI 116. San Juan.
10. United States Department of Agriculture. 1975. Soil Conservation Service. Manual de riego. Relaciones: suelo-agua-planta. Sec.15 Chapter 1. Traducción española de la Div. de Edafología.
11. United States Salinity Laboratory Stass. 1975. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. USA Handbook 60 L.A. Richard Editor. Versión española. México.
12. Vivas, J. 1984. Variación salina y obtención sistemática de datos hidroquímicos del agua subterránea en la zona de Mendoza Sur. CRAS D138. San Juan.
13. 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.
14. Zambrano, J. 1985. Regionalización hidrogeológica preliminar de la Provincia de Mendoza. CRAS - D155. San Juan.