



OASIS NORTE DE MENDOZA (ARGENTINA) ACUÍFERO LIBRE: PERÍODO 1969 - 1999

NORTHERN OASIS OF MENDOZA (ARGENTINA) FREE AQUIFER: 1969 - 1999

Nicolás Martinis
José Robles

Originales
Recepción: 03/10/2000
Aceptación: 30/10/2000

RESUMEN

La red piezométrica de observación hidrológica de la cuenca de agua subterránea del oasis Norte de Mendoza (Argentina), conformada por 474 pozos, ha sido medida casi ininterrumpidamente desde 1969. Con las series de niveles piezométricos obtenidos en el período invernal se analizó y cuantificó la variación del almacenamiento de agua subterránea en el área de acuífero libre para 1969/99.

La recarga del acuífero se produce por infiltración en el lecho del río Mendoza y sus canales, percolación profunda del riego y, en menor medida, por las precipitaciones meteóricas. La descarga ocurre por bombeo desde los acuíferos, surgencia natural y flujo subterráneo que egresa de la cuenca. Conocer el cambio de las reservas en relación con las distintas variables de recarga-descarga ha permitido definir su evolución y su estado actual, estableciendo mediante dos ecuaciones las variaciones de almacenamiento con el derrame del río Mendoza.

El déficit hídrico medio de la cuenca hidrogeológica entre 1969 y 1999, incluida la subcuenca Carrizal, es 51 hm³/año. En la mencionada subcuenca, dicho déficit sería del orden de 34 hm³/año. El área de estudio abarca 1 169 km² comprendiendo parte de los dptos. de Tupungato, Luján, Godoy Cruz, Capital, Las Heras, Maipú, Rivadavia, Junín y Guaymallén de la provincia de Mendoza.

ABSTRACT

The ground water basin piezometric network in Mendoza's Northern Oasis (474 wells) has been measured practically with no interruptions since 1969. The series of piezometric level data obtained during the winter months of each year were used to analyze and quantify ground water storage variations in the free aquifer area for the 1969 -1999 period.

The aquifer is recharged by infiltration from the Mendoza river bed and from canals, by deep percolation from irrigated areas, and -to a lesser degree- by meteoric precipitation. It is discharged by pumping, artesian discharge, and by ground water flow from the basin. A knowledge of storage variations given the different recharge-discharge variables has helped to define their evolution and current status, and to relate by means of two equations storage variations with the Mendoza River annual flow.

The analysis of storage variations has made it possible to estimate the mean water deficit in the hydrogeological basin at 51 hm³/year for the 1969-1999 period. The Carrizal subbasin's mean water deficit, which is in the order of 34 hm³/year, is part of that deficit. The study area of 1 169 km² comprises the departments of Tupungato, Luján, Godoy Cruz, Capital city, Las Heras, Maipú, Rivadavia, Junín and Guaymallén of the province of Mendoza (Argentina).

Instituto Nacional del Agua. Centro Regional Andino. Belgrano 210 O. (5500). Mendoza. Argentina.
e-mail: cra@ina.gov.ar



Figura 1

Palabras clave

Mendoza • oasis norte • agua subterránea • acuífero libre • variación del almacenamiento

Key words

Mendoza • northern oasis • ground water • free aquifer • storage variations

INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas y las hidrogeológicas contienen un sistema hídrico natural donde los distintos componentes del ciclo hidrológico interactúan entre sí. Las actividades humanas, dentro de dichos sistemas, modifican el comportamiento natural del agua, pudiendo producir graves daños ecológicos. Por dicha razón, una gestión racional del recurso hídrico en una región debe contemplar acciones que, tendiendo a un aprovechamiento eficiente, no alteren el equilibrio sistémico global.

La cuenca hidrogeológica del Oasis N. de Mendoza es una extensa cubeta deprimida de 22 000 km², rellena con sedimentos clásticos de ambiente continental de origen fluvial, provenientes de la cordillera principal, frontal y de la precordillera, transportados por los ríos Mendoza y Tunuyán. Sus límites naturales son:

- Al O, las primeras estribaciones de la Cordillera de los Andes.
- Al S, los afloramientos terciarios de los anticlinales Lunlunta-Carrizal, La Ventana y Vizcacheras y los arroyos La Estacada y Huayquerías.
- Al N y E, la laguna de Guanacache y el río Desaguadero, que si bien no se corresponden con afloramientos impermeables, son cierres sedimentarios que provocan una barrera por disminución gradual del tamaño de los sedimentos. Los acuíferos libres están contenidos dentro de un gran cono aluvional integrado predominantemente por sedimentos gruesos en su desarrollo vertical y horizontal.

La culminación de los conos coincide con un quiebre topográfico del terreno disminuyendo su pendiente, la capacidad de transporte fluvial y la granulometría de los sedimentos. El predominio de arenas sobre los intervalos limo-arcillosos confieren a los acuíferos características de semiconfinamiento y, en algunos casos, confinamientos lenticulares locales. La existencia de capas menos permeables origina una extensa área de surgencia cuyo eje mayor, de dirección NO- SE, es transversal al flujo del agua subterránea. El área de surgencia presenta características hidrogeológicas óptimas para la extracción de agua. Abarca 250 km², desde Palmira al S. hasta Colonia Segovia al N, pasando por Km 11, La Primavera y Los Corralitos.

Hacia el E no ha sido posible diferenciar unidades litoestratigráficas bien definidas en el relleno cuaternario, alternándose terrenos de diferente permeabilidad y variable espesor. Las condiciones geológicas e hidrogeológicas señaladas determinan la circulación horizontal y vertical del agua subterránea, como así también las áreas de recarga y descarga (figura 1, pág. 66). En el área libre de la cuenca hidrogeológica, se produce la recarga natural del sistema y es allí donde ocurren las mayores fluctuaciones volumétricas.

OBJETIVOS

- ★ Analizar y cuantificar las variaciones del almacenamiento del agua subterránea durante 1969/99 en el área de acuífero libre de la cuenca y subcuenca Carrizal.
- ★ Precisar la evolución del almacenamiento en el acuífero libre y su estado actual.
- ★ Establecer un modelo estadístico de predicción de dichas variaciones en función del derrame del río Mendoza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recopilaron los registros de niveles piezométricos de los 474 pozos de observación de la red de monitoreo del Instituto Nacional del Agua. Posteriormente se seleccionaron los datos medidos en invierno, época en que los acuíferos se hallan menos perturbados por la extracción de agua, fundamentalmente destinada a riego. De la estación de aforos Cacheuta (División Hidrología, EDEMSA) se obtuvo la serie de derrames del río Mendoza entre 1969 y 1999, ordenada en períodos anuales desde el 1 de julio al 30 de junio del año siguiente. La cartografía fue proporcionada por el Instituto Geográfico Militar Argentino y el precitado organismo. Se trabajó con los programas: Autocad R-14, Surfer V.6 y Excel.

Con el programa Surfer y los registros de niveles, coordenadas, cotas y número de identificación del pozo, se elaboraron grillas para calcular la variación del almacenamiento. Se igualaron las de un año respecto del anterior para permitir que el programa determinara los volúmenes del acuífero porque la red monitorea, por distintos motivos, no pudo medirse completamente todos los años. Luego, afectando estos volúmenes por la porosidad efectiva promedio estimada en 12 % para el área de acuífero libre, se obtuvo la variación de almacenamiento neto de agua de un año respecto al otro. Si la variación de almacenamiento resulta positiva indica que la recarga fue mayor que la descarga y si es negativa, el fenómeno inverso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. Acuífero libre

En la tabla 1 (pág. 69) se indica el área libre: 1169 km², la porosidad efectiva asumida: 12%, la variación anual del almacenamiento y derrame anual del río Mendoza. La figura 2 (pág. 70) representa dos series: una correspondiente al hidrograma del río Mendoza y su tendencia en 1969/99 y la otra, a la variación anual del almacenamiento y su tendencia para el mismo período. En este gráfico se observa que las variaciones de almacenamiento acompañan a las variaciones del derrame del río, aspecto que permitió relacionar ambas series. La función encontrada que mejor ajusta la serie de datos es:

$$Y = 0,4945 X - 793,62$$

Y = variación anual del almacenamiento en hm³/año.

X = derrame anual del río Mendoza en hm³/año. Válido para valores comprendidos entre 830 y 2776 hm³/año.

Tabla 1.

Años	Derrame del río Mendoza (hm ³)	Variación anual del almacenamiento en acuífero libre (hm ³)
70-69	1326	-206
71-70	830	-403
72-71	1083	-205
73-72	1983	426
74-73	1504	95
75-74	1480	-9
76-75	1110	-306
77-76	929	-272
78-77	1698	233
79-78	2241	399
80-79	1546	-53
81-80	1854	204
82-81	1285	-289
83-82	2776	492
84-83	2007	65
85-84	1799	-129
86-85	1338	-213
87-86	2070	136
88-87	2103	298
89-88	1372	-348
90-89	1197	-142
91-90	1000	-282
92-91	1701	149
93-92	1622	84
94-93	1417	-113
95-94	1446	-158
96-95	1177	-253
97-96	855	-281
98-97 *	1297	-145
99-98 *	1014	-300
Total		-1526

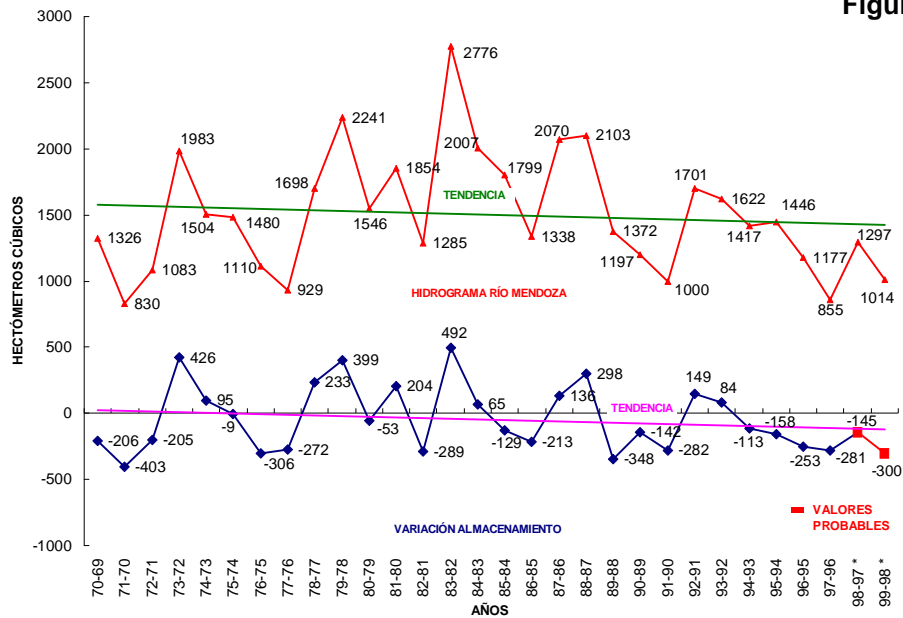
Tabla 2.

Años	Variación del almacenamiento según recta de regresión (hm ³)	Intervalo de confianza 95 % límites inferior y superior (hm ³)
70-69	-138	-187 -89
71-70	-383	-466 -301
72-71	-258	-321 -195
73-72	187	123 251
74-73	-50	-95 -5
75-74	-62	-107 -17
76-75	-245	-306 -184
77-76	-334	-409 -260
78-77	46	-2 94
79-78	315	231 399
80-79	-29	-74 16
81-80	123	68 179
82-81	-158	-209 -107
83-82	579	447 711
84-83	199	133 264
85-84	96	44 148
86-85	-132	-181 -83
87-86	230	160 300
88-87	246	174 319
89-88	-115	-163 -68
90-89	-202	-257 -146
91-90	-299	-368 -230
92-91	48	-1 96
93-92	8	-37 54
94-93	-93	-139 -47
95-94	-79	-124 -33
96-95	-212	-268 -155
97-96	-371	-451 -291

* Valores obtenidos por regresión

El coeficiente de determinación obtenido: $R^2 = 0,8016$ significa que el 80 % de la variación anual del almacenamiento en el acuífero libre está explicado por el derrame anual del río Mendoza. Cuando el derrame anual del río aumenta 1 hm³ el almacenamiento neto de la cuenca lo hace en 0,49 hm³. Con el programa de cálculo estadístico SAS se verificó el grado de significancia de R^2 que -para nuestro caso- resultó significativo a un nivel de baja probabilidad: $P = 0,0001$. En la tabla 2 se indica la ecuación de la recta de regresión, coeficiente de determinación: R^2 , nivel de probabilidad: P , variación del almacenamiento según la recta de regresión, límites inferior y superior, para un intervalo de confianza de 95 %. Las funciones son las representadas en la figura 2 (pág. 70).

Figura 2



Con la ecuación se obtuvo la variación del almacenamiento para 1997/98 y 1998/99, en función del derrame del río, debido a que en 1998 no se efectuaron mediciones. La gráfica demuestra que el equilibrio de la cuenca (variación del almacenamiento = 0) se logra para un derrame del río del orden de 1 605 hm³/año, valor que supera el derrame medio del período 1969/99, que fue de 1 502 hm³/año. Si consideramos que la sumatoria de las variaciones de almacenamiento anuales para el período de 30 años es de -1 526 hm³ (tabla 1, pág. 69), entonces se verificaría un déficit anual medio de 51 hm³/año.

II. Subcuenca Carrizal

Ubicada en la margen derecha, al S del río Mendoza, sus 545 km² forman parte del acuífero libre de la cuenca hidrogeológica de Mendoza N (figura 1, pág.66). Con el método anteriormente descrito se analizaron las dos series hidrológicas: variación del almacenamiento y derrame del río Mendoza. En la tabla 3 (pág. 71), se especifica la superficie del área, la porosidad efectiva asumida: 12 %, la variación anual del almacenamiento y derrame anual del río Mendoza. En la figura 3 (pág. 72), se observa el hidrograma del río, la variación del almacenamiento y sus tendencias verificándose también el acompañamiento de las fluctuaciones entre ambas curvas. La función encontrada que mejor ajusta la serie de datos es:

$$Y = 0,1959 X - 328,49$$

Donde:

Y = variación anual del almacenamiento en Hm³/año

X = derrame anual del río Mendoza en Hm³/año. Válido para valores comprendidos entre 830 y 2776 Hm³/año

Tabla 3.

70-69	1326	-29
71-70	830	-123
72-71	1083	-113
73-72	1983	-15
74-73	1504	18
75-74	1480	-35
76-75	1110	-111
77-76	929	-195
78-77	1698	49
79-78	2241	148
80-79	1546	-75
81-80	1854	105
82-81	1285	-126
83-82	2776	220
84-83	2007	33
85-84	1799	-90
86-85	1338	-85
87-86	2070	28
88-87	2103	198
89-88	1372	-121
90-89	1197	-42
91-90	1000	-150
92-91	1701	-18
93-92	1622	47
94-93	1417	-50
95-94	1446	-72
96-95	1177	-103
97-96	855	-114
98-97 *	1297	* -74
99-98 *	1014	* -130
Total		-1025

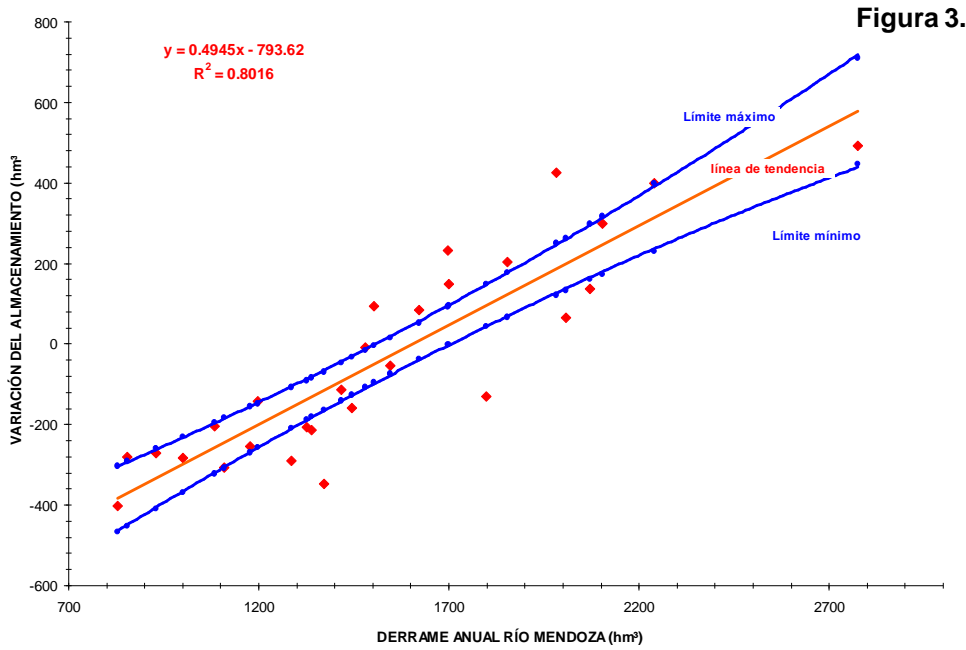
Tabla 4.

70-69	-69	-91	-46
71-70	-166	-203	-129
72-71	-116	-145	-88
73-72	60	31	89
74-73	-34	-54	-13
75-74	-38	-59	-18
76-75	-111	-138	-83
77-76	-146	-180	-113
78-77	4	-17	26
79-78	111	73	148
80-79	-26	-46	-5
81-80	35	10	60
82-81	-77	-100	-54
83-82	215	156	275
84-83	65	35	94
85-84	24	0	48
86-85	-66	-88	-44
87-86	77	45	109
88-87	84	51	116
89-88	-60	-81	-38
90-89	-94	-119	-69
91-90	-133	-164	-101
92-91	5	-17	27
93-92	-11	-31	10
94-93	-51	-72	-30
95-94	-45	-66	-25
96-95	-98	-123	-72
97-96	-161	-197	-125

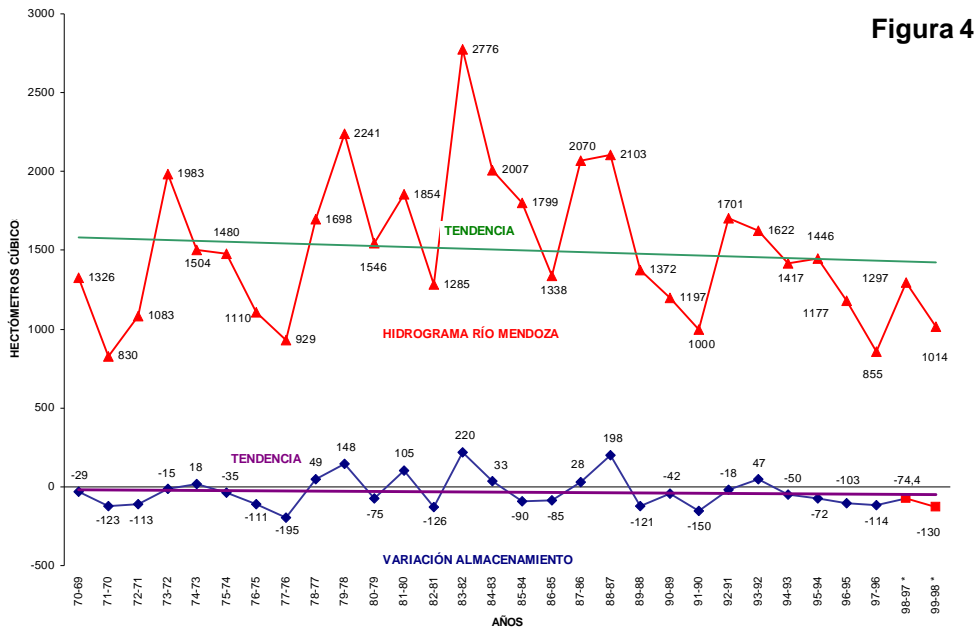
* Valores obtenidos por regresión

El coeficiente de determinación obtenido: $R^2 = 0,76$ significa que el 76 % de la variación del almacenamiento está explicado por el derrame del río Mendoza. Cuando el derrame anual del río aumenta un hectómetro cúbico, el almacenamiento neto de la cuenca aumenta $0,195 \text{ hm}^3$. Con el programa de cálculo estadístico SAS se verificó el grado de significancia de R^2 que resultó significativo a un nivel de probabilidad bajo: $P = 0,0001$.

En la tabla 4 se indica la ecuación de la recta de regresión, el coeficiente de determinación (R^2), nivel de probabilidad (P), variación del almacenamiento según la recta de regresión, límite inferior y superior para un intervalo de confianza del 95 %. Las funciones son las representadas en la figura 4 (pág. 72).



Los datos de variación de almacenamiento para 1997/98 y 1998/99 se obtuvieron a partir de la recta de regresión lineal. En la figura 5 (pág. 73), se observa que el equilibrio de la subcuenca (variación del almacenamiento = 0) se logra para un derrame del río de 1 677 hm³/año, valor que supera el derrame medio del período 1969/99, que fue de 1 502 hm³/año.



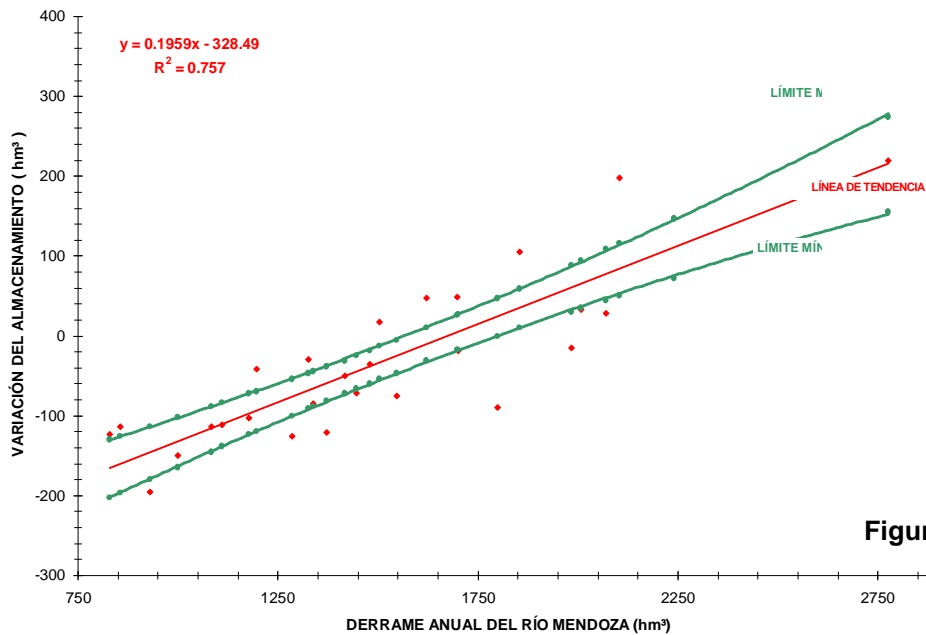


Figura 5

La sumatoria de las variaciones de almacenamiento anuales para el período de 30 años es de $-1\,025\text{ hm}^3$ (tabla 3, pág.71); consecuentemente el déficit anual medio es de $34\text{ hm}^3/\text{año}$.

En el Estudio de las Aguas Subterráneas en el valle del Carrizal (6) se determinó -para 1972- que el déficit para 1963/69 era de $35\text{ hm}^3/\text{año}$, atribuido a un período hídrico pobre. Otro estudio posterior dio un déficit -para 1969/79- de $11,1\text{ hm}^3/\text{año}$ (7). En los casos analizados en el presente trabajo, el déficit hídrico de la cuenca hidrogeológica del oasis N, también se produjo en años hidrológicos pobres, cuando los derrames anuales del río Mendoza en el período de 30 años estuvieron 19 veces por debajo de su módulo: $1\,577\text{ hm}^3/\text{año}$, según registros de la estación de aforos Cacheuta.

CONCLUSIONES

- Las variaciones del almacenamiento en el acuífero libre de la Cuenca N y Subcuenca Carrizal acompañan a las variaciones anuales del derrame del río Mendoza.
- El modelo estadístico para predecir las variaciones de almacenamiento en función del derrame del río Mendoza para 1969/99, se ajusta aceptablemente y permite pronosticar situaciones futuras en condiciones naturales similares.
- La variación del almacenamiento contempla el fenómeno de recarga-descarga del sistema por todo concepto en 1969/99 y, en consecuencia, el modelo es válido siempre que no varíen sustancialmente dichas condiciones.

- Para 1969/99, el déficit hídrico medio de la cuenca hidrogeológica, incluida la subcuenca Carrizal, fue de 51 hm³/año.
- En la subcuenca Carrizal, el déficit hídrico medio se hallaría en el orden de los 34 hm³/año, siendo parte del déficit hídrico total de 51 hm³/año.

Agradecimientos

A Graciela Fasciolo y Luis Fornero por el apoyo brindado en los aspectos estadísticos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alba, Alberto. 1973. Morfología de la superficie piezométrica. CRAS. San Juan. Argentina.
2. Ortiz, A. y Zambrano, J. I. 1975. Investigación hidrogeológica: zona N de Mendoza. CRAS. San Juan. Argentina.
3. Ortiz, M. et al. 1975. Investigación del agua subterránea en el área Mendoza, zona N. CRAS. San Juan. Argentina.
4. PASNOA. 1972. Estudio de las aguas subterráneas en el Valle del Carrizal. UN. Nueva York.
5. Pazos, J. y Nieva, M. 1978. Balance hidrológico subterráneo zona N. Mendoza. CRAS. San Juan. Argentina.
6. Programa Naciones Unidas para el Desarrollo. 1972. Estudio de las aguas subterráneas en el valle del Carrizal. Mendoza.
7. Robles, J. et al. 1983. Estudio de la recarga artificial en el río Mendoza con énfasis en la Subcuenca Carrizal (Mendoza). CRAS. San Juan. Argentina.