



El acuífero libre costero de Monte Hermoso, Argentina. Generalidad. Recurso y reserva

The unconfined coastal aquifer of Monte Hermoso, Argentina. Generality. Resource and reserve

Di Martino, Claudina ^{1,2} ✉ - Albouy, René ² - Cifuentes, Olga ¹ - Marcos, Angel ²

Recibido: 11 de noviembre de 2014 • Aceptado: 26 de diciembre de 2014

Resumen

El recurso hídrico subterráneo de la localidad de Monte Hermoso se encuentra emplazado en el cordón costero medanoso característico del litoral bonaerense que constituye la única fuente para el abastecimiento de agua potable de dicha localidad.

El objetivo general de este trabajo es la estimación de la recarga del acuífero freático, homologable al recurso hídrico potencial subterráneo, es decir, la cantidad de agua disponible anualmente en términos de un régimen de explotación racional y sustentable del recurso.

Para estimar la recarga debido a las lluvias se utilizaron dos métodos: el balance de masas de agua a nivel de suelo y el balance de masas del ión cloruro entre el agua de la precipitación y de la capa freática. Los valores de recarga obtenidos se contrastaron con los hallados por otros autores en áreas medanosas similares.

Los resultados indican, que la recarga media al acuífero en condiciones naturales, representa un 35% de la lámina de agua precipitada lo que equivale un volumen de 0,234 hm³ por cada km². Considerando un área de recarga de 12 km², puede calcularse un recurso hídrico potencial en el orden a los 2,8 hm³ al año. La extracción anual de agua no debería superar este volumen en el marco de una gestión racional del acuífero.

Teniendo en cuenta un área de distribución de pozos de bombeo de aproximadamente 6 km², las reservas de agua subterránea pueden estimarse en el orden de 21 hm³ considerando un espesor de acuífero de 17,5 m y una porosidad efectiva del 20%.

Palabras Claves. *Recurso hídrico subterráneo - Acuífero libre costero - Monte Hermoso - Argentina.*

Abstract

Groundwater resources in Monte Hermoso coastal city is located in the sand dunes of the Buenos Aires province coastline which is the only source for the water supply of the city. The aim of this work is the estimation of the recharge of the

✉ claudinadimartino@hotmail.com

1. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca. 11 de abril 461, (8000) Bahía Blanca, Argentina.
2. Departamento de Geología. Universidad Nacional del Sur. San Juan 670, (8000) Bahía Blanca, Argentina.

unconfined aquifer which is the potential groundwater resources, i.e., the amount of water available annually in terms of a rational and sustainable exploitation of the resource.

Two methods were used to estimate the recharge from rain: daily water soil balance and balance of masses of ion chloride. Recharge values obtained were compared with those found by other authors in similar dune areas.

The results indicate that the average recharge under natural conditions, represents 35% of the rainfall (0,234 hm³ per km²). Considering a recharge area of 12 km², a groundwater potential resource in the order to 2.8 hm³/year can be calculated. The annual extraction of water should not exceed this volume as part of a rational groundwater management.

Taking into account a pumping wells area of 6 km², 20% effective porosity and an aquifer thickness of 17.5 m, a groundwater reserves in the order of 21 hm³ can be estimated.

Keywords. *Groundwater resources - Coastal unconfined aquifer - Monte Hermoso - Argentine.*

INTRODUCCIÓN

Monte Hermoso es una localidad turística ubicada sobre la costa Atlántica, en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (República Argentina), que presenta una marcada estacionalidad turística y en consecuencia una mayor demanda de agua durante la temporada estival. Los últimos cuatro censos muestran una tendencia creciente de su población estable y turística, siendo esta última aproximadamente diez veces la primera. El recurso hídrico subterráneo es actualmente su única fuente de abastecimiento de agua para consumo humano y otros usos, por lo que surge la necesidad de cuantificar el volumen de agua disponible anualmente, en términos de una explotación racional, para contribuir a una gestión sustentable del recurso o lo que es lo mismo, una situación en que el consumo esté en equilibrio con los ingresos de agua.

La localidad de Monte Hermoso está situada en la Subregión Hidrogeológica Médanos Costeros (*Santa Cruz y Silva Busso, 1999*) también denominada Región Costera (*Auge, 2004; González, 2005*). Estos autores diferencian y describen distintas Regiones Hidrogeológicas haciendo referencia a ambientes que presentan características o comportamientos distintos en relación a las aguas subterráneas.

En Monte Hermoso el acuífero libre está alojado, en los sedimentos arenosos de la Formación Punta Médanos y en la porción superior de los "sedimentos pampeanos" subyacentes. El acuífero forma parte de la denominada Sección Hidroestratigráfica Epiparaneana (*DYMAS, 1974*). El objetivo de este trabajo es cuantificar el ingreso de agua al acuífero (recarga), cuestión básica para analizar la sustentabilidad de la explotación del recurso hídrico subterráneo del lugar.

UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Monte Hermoso es una localidad turística al sur de la Provincia de Buenos Aires, ubicada geográficamente a los 38° 59' 33" de latitud Sur y a 61° 15' 55" longitud Oeste. Limita al Sur con el Océano Atlántico, al Norte y al Este con el Partido de Coronel Dorrego y al Oeste con el Partido de Coronel de Marina Leonardo Rosales, siendo ciudad cabecera del Partido de Monte Hermoso (Figura 1). Según el *INDEC (2010)* cuenta con 6.494 habitantes y los registros de los tres últimos censos indican una tendencia creciente en la población estable; en temporada estival, se estima que pernoctan en Monte Hermoso unas 70.000 personas (*Caruso et al., 2010*).

Desde un punto de vista geomorfológico, se observan dos ambientes bien diferenciados: al Norte del río Sauce Grande se desarrolla una amplia llanura, con suave declive hacia el Sur que se encuentra surcada por cursos de agua permanentes, comúnmente asociados a zonas anegadizas. Al Sur del río Sauce Grande, y hasta el mar, se desarrolla un importante cordón costero litoral, constituido por dunas de arena, con un ancho promedio de 5 km y alturas que no superan los 25 m sobre el cual se halla emplazada la localidad de Monte Hermoso.

La temperatura media anual es de unos 15,2°C (período enero 2008-agosto 2011); el valor medio durante los meses de verano es de 21,4°C y en el invierno de 8,5°C, siendo de 16,7°C en otoño y 14,2°C en primavera. Estos valores confirman la variada diferenciación térmica estacional del área de estudio, característica de los climas templados (*Huamantínco, 2012*); las máximas extremas pueden alcanzar los 49°C en días que no sopla la brisa marina. La zona se caracteriza por la presencia de vientos cuya dirección dominante es del sector N, NO y NE. Los que provienen del mar (S, SE y SO) son menos frecuentes, sin embargo son los de mayor intensidad. Menos habituales aún son los de dirección E-O (*Fernández et al., 2003, 2006*).

En referencia a la precipitación, no existe para Monte Hermoso un registro que abarque un período largo de tiempo. La referencia de interés más adecuada puede encontrarse en *Paoloni y González Uriarte (2005)* que para la serie centenaria 1893-2003 y para la localidad de Coronel Dorrego, ubicada a unos 30 km al NNE de Monte Hermoso, indican una precipitación media anual de 669 mm. *Caruso et al. (2010)* mencionan una media de lluvias de 656,8 mm señalando que se verifican principalmente en el otoño y primavera. En este trabajo se procesaron datos diarios de lluvia de Monte Hermoso correspondientes a dos intervalos cortos (1998-2001 y 2006-2008) suministrados por la Cátedra de Geología Ingenieril del Departamento de Geología (UNS) y por el Municipio de Monte Hermoso. El valor obtenido arroja un promedio anual de 637 mm.

GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

En el subsuelo del área se reconocen los denominados genéricamente "sedimentos pampeanos" de edad correspondiente al Plioceno medio a superior (*Fidalgo et al., 1975*). Se trata de sedimentos de naturaleza loésica, castaños con tonalidades amarillentas a rojizas, que tienen amplia distribución regional y un considerable espesor, que puede llegar en el ambiente de la llanura pampeana hasta 200 m. Están compuestos principalmente por limos arenosos con cemento de carbonato



Figura 1. Ubicación del área de estudio.

de calcio, el cual se presenta como concreciones calcáreas o formas mantiformes (tosca). Hacia el Norte del área de estudio esta unidad geológica aflora o está cubierta por sedimentos eólicos “pospampeanos” sobre los que han evolucionado los suelos actuales. Hacia la costa, y dentro del área de estudio, están cubiertos por dunas y médanos correspondientes a la Formación Punta Médanos (Santa Cruz y Silva Busso, 1999). La misma está integrada por arenas cuarzosas amarillentas, de granulometría media a fina, y conforman el cordón arenoso costanero o faja medanosa de la provincia de Buenos Aires que alcanza una extensión de alrededor de 600 km de costa atlántica y tiene un ancho variable que promedia los 3 km. Estas dunas, representan el relicto arenoso generado por la acción del mar sobre los sedimentos pampeanos y sometidos posteriormente a la acción del viento (Auge, 2004).

Desde un punto de vista hidrogeológico el sector de estudio forma parte de la denominada Subregión Médanos Costeros (Santa Cruz y Silva Busso, 1999) o Región Costera (Auge, 2004; González, 2005). Estos autores diferencian y describen distintas Regiones Hidrogeológicas haciendo referencia a ambientes que presentan características o comportamientos distintivos en relación a sus aguas subterráneas. La Región Costera se extiende como una delgada faja, de unos 2600 km², coincidentes con los alineamientos de dunas costeras que se desarrollan desde la Punta Norte del Cabo San Antonio hasta Santa Clara del Mar y desde Chapadmalal hasta Punta Alta. Las características hidrogeológicas de este ambiente, dentro de la provincia de Buenos Aires, han sido estudiadas, entre otros, por Di Martino (2014), Rodríguez et al. (2013), Carretero et al. (2013) y Carretero (2011). En Monte Hermoso el acuífero libre está alojado, en los sedimentos arenosos de la Formación Punta Médanos y en la porción superior de los sedimentos pampeanos

subyacentes. El acuífero forma parte de la denominada Sección Hidroestratigráfica Epiparaneana (DYMAS, 1974).

Las dunas y unidades arenosas, poseen altas permeabilidad y porosidad efectiva, debido a la arena suelta y bien seleccionada que las componen (Auge, 2004). Son frecuentes en este tipo de materiales conductividades hidráulicas promedio entre 1 m/d (arena fina) hasta 10 m/d (mezcla de arena fina-gruesa) y porosidad eficaz media en el orden del 20 % (Custodio y Llamas, 1983). Di Martino et al. (2012) mediante la interpretación de ensayos de bombeo a caudal constante, obtuvieron conductividades hidráulicas entre 2,3 y 9,5 m/d (valores típicos de mezcla de arena o arena fina) y un coeficiente de almacenamiento o porosidad efectiva en torno a 0,2.

Estas características hidráulicas otorgan a las dunas gran capacidad de absorción frente a la lluvia, aún en aquellos sitios donde han sido fijadas por vegetación artificial (San Bernardo, Pinamar, Villa Gesell, Monte Hermoso). En efecto, la presencia de estos médanos costeros favorecen la rápida infiltración del agua y su incorporación a la zona saturada (recarga) por lo que constituyen excelentes almacenes de agua.

Desde un punto de vista hidrodinámico, el escurrimiento subterráneo manifiesta una tendencia de circulación general en dirección N-S hacia el mar, que constituye el nivel de base o de descarga final de los escurrimientos superficial y subterráneo regional (Sala, 1975). El estudio de la hidrodinámica subterránea del partido de Coronel Dorrego (Paoloni, 2005) permite confirmar, próximo al área de este estudio, un escurrimiento general con una orientación dominante NNO-SSE en dirección a la costa marítima. En los médanos y dunas puede originarse un sistema de flujo local superpuesto al regional, producto de la recarga por agua de lluvia y su circulación a los sectores de descarga locales. Dentro de este esquema hidrodinámico

pueden originarse “domos” con flujos subterráneos divergentes (hacia el continente y hacia el mar). *González Arzac et al. (1990)* elabora un modelo hidrodinámico del acuífero freático o libre costero entre Punta Rasa y Punta Médanos y describe a las dunas como la zona de recarga principal donde luego de un corto tramo de conducción se produce la descarga en dos direcciones opuestas, una hacia el mar y la otra hacia el oeste. Asimismo identifica una divisoria de aguas subterráneas, con orientación N-S en coincidencia con las mayores alturas del cordón costero.

ESTIMACIÓN DE LA RECARGA

La recarga es el agua que se incorpora a un acuífero procedente del exterior de su contorno (*Carrica, 2005*). Recientemente ha sido definida como “el proceso natural o artificial por el cual se produce la entrada de agua a un acuífero” (*FCIHS, 2009*).

En muchas regiones del mundo, como es el caso del área de estudio, los acuíferos constituyen la principal o única fuente de suministro de agua, por lo cual el estudio de la recarga tiene gran interés. Su evaluación es de fundamental importancia para determinar la posibilidad de desarrollo económico-social de estas regiones, dado que su cuantificación constituye uno de los aspectos técnicos esenciales de la gestión de un acuífero (*Carrica, 2005*). La recarga del acuífero en el área de estudio, ocurre en forma natural, a partir principalmente de la infiltración de agua de lluvia en el suelo.

La estimación de la recarga, presenta ciertas dificultades asociadas a su variabilidad espacial y temporal. Las fluctuaciones en el tiempo se verifican especialmente en regiones áridas y semiáridas debido a la variación de las precipitaciones y de la evapotranspiración. Las diferenciaciones en el espacio se vinculan especialmente con cambios en la topografía, litología superficial, suelos, cubierta vegetal, etc.

La recarga media anual de un acuífero equivale al recurso potencial, es decir, el agua factible de ser extraída del sistema en el marco de una explotación racional. Así, la estimación de la recarga del acuífero que abastece la localidad de Monte Hermoso, es una cuestión básica para analizar la sustentabilidad de la explotación del recurso hídrico subterráneo del lugar.

Para estimar la recarga del acuífero libre debido a las lluvias se utilizaron y contrastaron los resultados de dos métodos: el balance de masas de agua (balance hídrico a nivel de suelo) y el balance de masas del ión cloruro entre el agua de lluvia y la capa freática. Los valores de recarga obtenidos se compararon con los hallados por otros autores en áreas medanosas similares.

CÁLCULO DE LA RECARGA MEDIANTE EL BALANCE HÍDRICO DEL SUELO

El balance hidrológico, tanto a nivel de cuenca o del suelo, es el método más difundido y utilizado para el cálculo de la

recarga. No obstante, hay que tener en cuenta que los balances modulares anuales o mensuales en zonas áridas-semiáridas tienen poco sentido real ya que resultan siempre deficitarios, esto es porque la evaporación y evapotranspiración real (ETR) promedio siempre superan al valor de la precipitación (P) y no existirían posibilidades de recarga directa. Debido a ello el balance hidrológico del suelo en zonas áridas y semiáridas puede ser un método apropiado solo si se realiza a paso diario, ya que muchas veces la precipitación diaria supera el valor de ETR diaria, por lo tanto existe un exceso de agua factible de recargar por infiltración de la lluvia. Además, vale recordar que las condiciones atmosféricas en los días de lluvia dan lugar a valores de ETR bajos y que en muchas de las zonas áridas y semiáridas las precipitaciones, si bien ocasionales, suelen ser de corta duración pero intensas, lo que favorece la recarga.

Para llevar a cabo el balance de aguas a nivel del suelo se utilizó el programa de balance hidrológico diario Balshort (*Carrica, 1993*). El mismo utiliza datos de precipitación (P) diaria y calcula la evapotranspiración real diaria en función de la evapotranspiración potencial (ETP), la humedad del suelo y la textura del mismo. La última versión del programa Balshort, incluye la posibilidad de estimar la interceptación vegetal (I) basándose en el modelo o método de *Horton (1919)* para cuatro cultivos básicos limitando su valor a un máximo de 5mm diarios, en base al concepto de que I alcanza un valor final independiente de la precipitación. Para llevar a cabo la estimación de recarga mediante este programa se utilizaron datos de precipitación diarios de Monte Hermoso de dos intervalos de tiempo; el primero correspondiente al período 1998-2001 y el segundo al lapso 2006-2008. Los datos pluviométricos de carácter diarios, condición excluyente para poder aplicar el programa, fueron suministrados por la Cátedra de Geología Ingenieril del Departamento de Geología (UNS) y por el Municipio de Monte Hermoso.

La ETP se calculó aplicando el método empírico de *Thornthwaite (1948)*. El mismo utiliza como variable primaria para la estimación de la evapotranspiración, la temperatura media de cada mes. Los datos termométricos fueron extraídos de los registros de Huamantín Cisneros 2012 (Tabla 1).

Se impuso un tipo de textura de suelo arenosa con una capacidad de campo de 24mm en base a una profundidad radicular media de 30 cm y a una retención específica de la arena de 8% (*U.S. Geological Survey Water Supply, 1967*); una cobertura vegetal tipo pastos con capacidad de interceptación vegetal de la lluvia limitada a 5mm diarios y una reserva inicial de 10 mm. Los resultados del programa Balshort se resumen a continuación (Tabla 2).

Con los datos indicados puede calcularse un valor medio de P de los dos intervalos analizados de 637 mm y una recarga media del orden al 33 % en relación a la lluvia. Si bien se trata de una serie corta de años, queda muy bien reflejada la variabilidad temporal de la lluvia y su influencia en la magnitud de la recarga.

Tabla 1. Valores de ETP medios mensuales (en mm).

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
T Media (°C)	22,9	23,5	19,8	15,9	11,7	8,5	7,8	9,3	10,6	14,6	17,4	19,2
ETP (mm)	111,1	110,1	75,8	56	43,1	37,0	37,2	42,9	49,4	62,4	76,3	87,2

Tabla 2. Excesos Anuales (Recarga).

Período 1 (1998-2001)				Período 2 (2006-2008)			
Año	P total (mm)	Recarga (% de P)	Recarga (mm)	Año	P total (mm)	Recarga (% de P)	Recarga (mm)
1998	609	27,4	167	2006	577	44,1	254
1999	562	30,1	169	2007	701	45,8	321
2000	640	32,0	205	2008	266	2,0	5
2001	1109	51,9	575				
Promedio	730	35,3	279	Promedio	514,6	30,6	193

Extrapolando espacialmente la media anual de la serie centenaria 1893/2003 para Coronel Dorrego (669 mm, *Paoloni y González Uriarte, 2005*) puede apreciarse que los años 2000 (640 mm) y 2007 (701 mm) de la serie de años analizada, son los que más se aproximan al módulo histórico de precipitación promediando 670,5 mm y una recarga de casi el 40%.

CÁLCULO DE LA RECARGA MEDIANTE EL BALANCE DE MASAS DEL IÓN CLORURO

El método, basado en el transporte de masa y energía, es alternativo a los hidrodinámicos y en gran medida independiente de ellos, ya que considera las propiedades asociadas al agua y no el agua propiamente dicha, por lo que resultan de interés para contrastar resultados. Los cloruros (Cl^-) presentes en el agua de lluvia (Cl^-_p) sufren un aumento de concentración en el suelo por evapotranspiración de tal modo que el agua de recarga presenta un factor de enriquecimiento en Cl^- (FEC) tal que:

$$\text{FEC} = [\text{Cl}^-_p] / [\text{Cl}^-_r] \quad (1)$$

Donde Cl^-_p y Cl^-_r son concentraciones de cloruros en agua de lluvia y recarga respectivamente.

En el caso de Monte Hermoso, sobre los médanos, donde no existe escurrimiento superficial, el balance de masas se simplifica y la recarga media anual en mm es:

$$\text{R} = \text{P} \times \text{FEC} \quad (2)$$

Donde P es la precipitación media anual.

Debido a la inexistencia de datos analíticos de concentración del ión cloruro para el agua de lluvia en Monte Hermoso, se tuvieron en cuenta valores registrados en las lluvias de Bahía Blanca, ciudad costera, ubicada a unos 100 km al oeste. Los datos analíticos fueron suministrados por la Cátedra de Hidrogeología de la Universidad Nacional del Sur y corresponden al muestreo de 72 tormentas registradas entre el 30/04/1987 y el 03/08/1989. Estos datos fueron procesados e interpretados por Bonorino (1994). En Bahía Blanca, los vientos del sector

marino, sur y este son poco frecuentes y con escasa influencia, lo cual se refleja en las bajas concentraciones de cloruros y sulfatos de las lluvias, que en general provienen del aerosol marino transportado en masas húmedas o nubes. La costa de Monte Hermoso presenta vientos predominantes del cuadrante Norte provenientes del continente y brisas marinas provenientes del sector ESE y SE (*Fernández et al., 2006; Huamantínco Cisneros, 2012*) que provocan el descenso de la temperatura y el aumento de la humedad del aire. Estos aerosoles marinos contribuyen al enriquecimiento en Cl^- y Na^+ en las aguas de lluvia de Monte Hermoso, respecto a las que se verifican en Bahía Blanca (*Bonorino, 1994*). Por la proximidad al mar de la localidad balnearia, y en base a la serie de datos disponibles, se promediaron los máximos valores de cloruros medidos en las lluvias de Bahía Blanca, lo que arroja un valor de 0,536 mEq/L.

La concentración de cloruros en el agua de recarga también es muy variable por lo que se consideraron dos hipótesis:

(a) el contenido promedio de las concentraciones de Cl^- del agua de los pozos que conforman el sistema de abastecimiento de agua registrado en varios muestreos espaciados temporalmente. Los pozos de bombeo tienen una penetración en el acuífero de modo que la muestra que se extrae durante el bombeo sería una mezcla del agua proveniente del espesor saturado.

(b) el contenido promedio de las concentraciones mínimas registradas en el tiempo asumiendo que es más representativo del agua de la recarga, menos mineralizada, localizada en la parte superior del acuífero.

En base a la información hidroquímica del agua subterránea (Tabla 3) se calcularon valores medios de 2,2 mEq/L para la hipótesis (a) y 0,94 mEq/L para la hipótesis (b) de donde se obtienen, aplicando la ecuación (2) valores de recarga en el orden al 24% y el 57% de la precipitación respectivamente.

De los métodos aplicados para la valoración de la recarga, el balance de masas del ión cloruro presenta una mayor incertidumbre asociada al tipo de variables que intervienen en los cálculos (contenido de Cl^- en lluvia y agua de recarga), lo que impone ciertas precauciones a la hora de valorar los resultados. En cualquier caso, los valores de recarga obtenidos en esta investigación con la aplicación de los métodos precedentes, son consistentes y similares con los indicados por otros autores para ambientes medanosos, condiciones climáticas similares y con el uso también de otras metodologías de estimación de la recarga (*Torrente et al., 1989; Bonorino y Torrente, 1992; Carrero y Kruse, 2010; Carrica y Lexow, 2012*).

Tabla 3. Concentraciones de Cl- expresados en mg/L del agua de los pozos que conforman el sistema de abastecimiento de la localidad de Monte Hermoso. Cada valor corresponde a muestreos periódicos llevados a cabo entre 1995 y 2011 en diferentes perforaciones.

Concentraciones de cloruros (mg/L)														
2	24	64	34	62	84	76	69,4	158	77	220	60	46	56	42
32	26	44	40	48	62	52	164	71	149	157	79,6	133	55,1	65,3
24	30	26	26	22	36	40	47	52	192	188	200	81	133	40
24	26	22	24	34	24	130	48	219	143	125	76	42	38	24
30	30	56	32	30	38	32	61,2	29	30	30	34,7	54	32	90
40	36	48	39	42	51	62	40	36	48	87	76	216	72	282
40	40	50	54	56	49	32	43	40	40	174	69	79	119	135
36	42	46	45	56	44	36	42	46	80	172	58	171	152	136
44	56	248	47	40	228,5	60	64	80	44	104	32	90	60	52
112	110	203	32	244	374	66	112	110	203	167	432	412	206	34
48	100	82	92	58	60	68	24	53	71	80	200	59	270	34
208	254	222	252	54	208	254	222	58	72	34	245	48	79	34
108	76	102	84	48	124	50	52	206	66	61	32	132	58	66
32	132	58												

RECURSOS Y RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÁNEAS

El concepto de reserva hídrica subterránea se refiere al volumen de agua que contiene un acuífero o, en este caso, una porción de acuífero explotable en un instante determinado. Las reservas permiten cubrir la oferta de agua en aquellos años con escasa lluvia en donde el recurso generado por la recarga es inferior a la media anual. O sea la reserva puede asociarse o sumarse al recurso solo ocasionalmente y para cubrir una demanda estacional. El recurso hídrico subterráneo es el volumen de agua disponible anualmente y equivale a la recarga. De las estimaciones efectuadas se asumió un valor de recarga medio anual en el orden al 35% de la lámina de agua precipitada. Considerando un módulo pluviométrico anual de 669 mm la lámina de recarga es de 234 mm lo que equivale a un volumen de agua de 0,234 hm³ por cada km². Este valor de la recarga se estimó para el área de dunas, en condiciones naturales.

Hay que considerar que el área de captura de la explotación es mayor que la zona de influencia del bombeo y está acotada por los límites hidrológicos naturales del acuífero. Hacia el norte de la ciudad, el desarrollo de los médanos abarca una superficie aproximada de 12 km². Este sector, a diferencia de la zona urbana, conserva sus condiciones naturales constituyendo una efectiva zona de recarga. El recurso disponible rondaría los 2,8 hm³ anuales.

La recarga en el área urbana está afectada por los cambios en el uso de la tierra que modifican la relación entre los diferentes componentes del ciclo hidrológico. El desarrollo turístico es acompañado por un incremento en la infraestructura y

por la expansión de áreas con superficies impermeables. El proceso de urbanización, en distintos grados, trae aparejada la disminución de las posibilidades de infiltración de los excesos de agua, restringiendo las áreas de recarga natural y por consiguiente, las reservas de agua dulce disponibles. La disminución en la recarga es superior al 10% de lo que ocurre en el medio natural (Carretero y Kruse, 2010).

CONCLUSIONES

La recarga media al acuífero en condiciones naturales, se estimó en un 35% de la lámina de agua precipitada que equivale a un recurso hídrico subterráneo potencial en el orden de los 2,8 hm³. La extracción anual de agua, no debería superar este volumen en el marco de una gestión racional del acuífero. En este sentido se sigue en esta presentación el concepto tradicional de igualar el rendimiento sostenible con el 100% de la recarga natural. Actualmente, desde un punto de vista más conservacionista y en función de las condiciones hidrogeológicas locales, la tendencia es hacer equivalente el recurso disponible con una fracción de la recarga. Al respecto, hay muy poca experiencia, pero se sugieren valores medios en alrededor del 40%, valores menos conservadores en torno al 70% y los más conservadores alrededor del 10% (Ponce, 2007). La reserva subterránea estimada es de 21 hm³. La misma permite cubrir la oferta de agua en aquellos años con escasa lluvia en donde el recurso generado por la recarga es inferior a la media anual. Es decir, la reserva debería poder asociarse o sumarse al recurso solo ocasionalmente y para cubrir una demanda estacional.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AUGE, M., 2004.
Regiones Hidrogeológicas.
República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fé. La Plata.
- BONORINO A. Y R. TORRENTE, 1992.
Balance iónico aplicado al cálculo de la infiltración eficaz en áreas de relieve medanoso.
Terceras Jornadas Geológicas Bonaerenses. Actas: 189-194.
- BONORINO, G., 1994.
Geohidroquímica de la lluvia en la región del suroeste bonaerense.
Revista de la Asociación Geológica Argentina. RAGA 49 (1-2): 93-98.
- CARRETERO S. 2011.
Comportamiento hidrológico de las dunas costeras en el sector nororiental de la provincia de Buenos Aires.
Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Buenos Aires, Argentina. 436p. Disponible en SEDICI, Repositorio Institucional de la UNLP.
- CARRETERO, S, F. BRAGA, E. KRUSE Y L. TOSI. 2013.
Análisis temporal de las modificaciones en los médanos del Partido de la Costa y su relación con los recursos hídricos.
Temas Actuales en Hidrología Subterránea, 37-44. La Plata.
- CARRETERO, S. Y E. KRUSE, 2010.
Modificaciones en las áreas de recarga del acuífero freático en los médanos costeros de San Clemente del Tuyú, provincia de Buenos Aires.
Revista de la Asociación Geológica Argentina 66 (4):466-474.
- CARRICA, J., 1993.
Balshort: un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental pampeana.
XII Congreso Geológico Argentino, Actas VI: 243-248.
- CARRICA, J., 2005.
Apuntes del curso: Recarga de acuíferos y modelo de balance hidrológico.
Maestría en Recursos Hídricos, Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa (inédito).
- CARRICA, J. Y C. LEXOW, 2012.
La recarga a través de cordones medanosos en zonas semiáridas. Estudio de caso: Médanos, provincia de Buenos Aires, Argentina.
XI Congreso Hidrogeológico Latinoamericano. Cartagena de Indias, Colombia. Memorias. Soporte CD.
- CARUSO, M., O. CIFUENTES Y M. VAQUERO, 2010.
Impacto del Turismo sobre los Servicios de Agua Corriente y Desagües Domiciliarios. Estudio de caso: Monte Hermoso, Provincia de Buenos Aires.
En IV Congreso Latinoamericano de Investigación Turística. Eje Temático: Espacio Turístico y Medio Ambiente. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.
- CUSTODIO, E.Y R. LLAMAS, 1983.
Hidrología subterránea.
Segunda Edición Corregida. Tomo I. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. 1166 pp.
- DI MARTINO, CLAUDINA, 2014.
Sustentabilidad del recurso hídrico subterráneo de Monte Hermoso, provincia de Buenos Aires, República Argentina.
Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. 208 pp. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional FRBB. En: <http://www.edutecne.utn.edu.ar>
- DI MARTINO, C., R. ALBOUY, O. CIFUENTES Y A. MARCOS, 2012.
Evaluación preliminar del funcionamiento de la batería de pozos de abastecimiento en Monte Hermoso, Argentina.
Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. ASAGAI: No 29:73-81.
- DYMAS, 1974.
Contribución al mapa geohidrológico de la provincia de Buenos Aires.
Escala 1: 500.000. DYMAS (CFI-PBA), La Plata, Inédito.
- FERNÁNDEZ E., J. CALÓ, A. MARCOS Y H. ALDACOUR, 2003.
Interrelación de los ambientes eólico y marino a través del análisis textural y mineralógico de las arenas de la playa de Monte Hermoso, Argentina.
AAS Revista, 10(2):151-162.
- FERNÁNDEZ, E., A. MARCOS, J. CALO Y H. ALDACOUR, 2006.
Balance Sedimentario, Parámetros Meteorológicos y Oceanográficos en un Sector de la Playa de Monte Hermoso, Provincia de Buenos Aires.
Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas. GEOACTA 31, 11-22. ISSN 0326-7237. Argentina.

- FIDALGO, F., F. DE FRANCESCO Y R. PASCUAL, 1975.
Geología superficial de la llanura bonaerense.
VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio: 103-138. Bahía Blanca, Argentina.
- FCIHS, 2009.
Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea.
Hidrogeología.
- GONZALEZ, N., 2005.
Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires.
En Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, AGA, XXII: 359-374. La Plata.
- GONZALEZ ARZAC, R., A. VIZCAINO, F. ALFONSO Y L. PATROUILLEAU, 1990.
Los acuíferos del Litoral Atlántico entre Punta Rasa y Punta Médanos. Provincia de Buenos Aires, República Argentina.
6º Congreso Brasileiro de Aguas Subterráneas. Porto Alegre. Brasil.
- HORTON, R. E., 1919.
Rainfall interception. *Monthly Weather Rev.* 47: 603-623.
- HUAMANTINCO CISNEROS, M. A. 2012.
Efecto de la Variabilidad Climática del Balneario Monte Hermoso Sobre su Geomorfología Costera y el Confort Climático.
Tesis Doctoral en Geografía. Universidad Nacional del Sur. Argentina.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INDEC), 2010.
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Censo 2001; Provincia de Buenos Aires, población censada en 1991 y 2001, variación absoluta y relativa, disponible en: <www.indec.gov.ar>.
- PAOLONI, J. D., 2005.
Los recursos hídricos subterráneos: hidrodinámica, salinidad, contaminantes naturales y nutrientes.
En: Geoambiente y evaluación de las aguas freáticas del Partido de Coronel Dorrego (Provincia de Buenos Aires). Paoloni y González Uriarte Editores. Editorial de la Universidad Nacional del Sur (EdiUNS). 108 pp.
- PAOLONI, J.D. Y GONZÁLEZ URIARTE, M., 2005.
Geoambiente y evaluación de las aguas freáticas del Partido de Coronel Dorrego (Provincia de Buenos Aires).
Paoloni y G. Uriarte Editores. EdiUNS. 108 pp.
- PONCE, V. M., 2007.
Rendimiento sostenible del agua subterránea.
Disponible en: <www.rendimiento.sdsu.edu>.
- RODRIGUES CAPÍTULO L., E. KRUSE Y P. DE BERNARDI. 2013.
Fluctuaciones de niveles hidráulicos en un sector costero de la provincia de Buenos Aires.
Caso de estudio: Pinamar. Temas Actuales en Hidrología Subterránea 2013. La Plata; Año 2013, p. 51-56.
- SALA, J. M., 1975.
Recursos hídricos (Especial mención de las aguas subterráneas).
VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio Geología de la provincia de Buenos Aires: 169-193. Buenos Aires, Argentina.
- SANTA CRUZ, J. Y A. SILVA BUSSO, 1999.
Escenario Hidrogeológico General de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional, Argentina.
II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea. San Miguel de Tucumán, Tucumán. Pag. 461-471
- THORNTHWAITE C. W., 1948.
An Approach toward a Rational Classification of Climate.
Geographical Review, Vol. 38, No. 1. pp. 55-94.
- TORRENTE, R., G. BONORINO, E. RUGGIERO, 1989.
Dinámica freática en áreas de relieve medanoso.
Seminario Internacional Hidrología de Grandes Llanuras, UNESCO-CONAPHI. Buenos Aires, 1989. HILL- III/38/TRA. 18 pp.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY, 1967.
Professional Paper 1839-D: Summary of hydrologic and physical properties of rock and soil materials, as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey. 39pp.