

Modelación del flujo subterráneo en la cuenca Matanza-Riachuelo, Provincia de Buenos Aires

2. Cálculo de la recarga

Carlos Scioli¹, Luis Vives², María Burgos¹ y Sandra Martínez³

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral. Ciudad Universitaria RN168 Km 472,4 (3000) Santa Fe, Argentina

² Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo J. Usunoff" (UNCPBA – CIC – Municipalidad de Azul), Azul, Buenos Aires, Argentina.

³ Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR). Buenos Aires, Argentina.

Mail de contacto: scioli@fich.unl.edu.ar

RESUMEN

Dentro de las actividades para el saneamiento de la cuenca Matanza Riachuelo se desarrolló un modelo numérico de flujo de agua subterránea preliminar como punto inicial para disponer de una herramienta para la gestión y planificación de la cuenca. En una serie de tres artículos se presentan los trabajos realizados para obtener esta modelación numérica.

En este trabajo se propone, teniendo en cuenta la evolución espacio – temporal de la transformación de la zona rural en urbana, una metodología para el cálculo de la recarga rural y una formulación matemática para evaluar la recarga urbana a través de componentes de origen natural y antrópico. La expresión para evaluar esta recarga urbana incluye las pérdidas de las redes de agua, saneamiento y conductos pluviales, la recarga por escurrimiento superficial y pozos sépticos.

Palabras clave: Matanza-Riachuelo, recarga urbana, recarga rural .

ABSTRACT

Among the activities for cleaning up the Matanza Riachuelo basin, a groundwater flow numerical model was developed as a starting point to provide a tool for planning and management of the basin. The modeling is described in a three-part series articles.

Considering the space - time transformation from rural to urban water, a methodology for calculating rural recharge and a mathematical formulation to evaluate urban recharge through natural and anthropogenic components are presented. The expression to evaluate the urban recharge includes losses from the water distribution system, sewage system and storm drainage network, recharge from surface runoff and septic tanks.

Keywords: Matanza-Riachuelo, urban recharge, natural recharge.

Introducción

En el marco del Plan Integral de Saneamiento de la cuenca Matanza Riachuelo (CMR) se desarrolló un modelo numérico de flujo de agua subterránea como una herramienta para la evaluación del recurso y la gestión del saneamiento. En una serie de tres artículos se presentan los trabajos realizados para obtener esta modelación. En este segundo trabajo se presenta el cálculo de la recarga al acuífero superficial para el período 1906-2010, teniendo en cuenta las componentes de origen natural y algunas proveniente de actividades antrópicas.

La urbanización de una zona rural produce una alteración del balance hidrológico que generalmente se traduce en el aumento del escurrimiento superficial, reducción de la recarga natural de acuíferos, reducción de la

evapotranspiración y un significativo aumento de la recarga inducida por acciones antrópicas tal como pérdidas de las redes de agua y saneamiento.

La recarga de origen antrópico está relacionada con el grado de ocupación del territorio por instalaciones urbanas, tales como la distribución espacial y temporal de áreas impermeables (casas, edificios, calles y áreas de suelo compactado) y redes de agua potable y de desagüe pluvial y cloacal (Lerner, 1986). En algunas áreas urbanas, la recarga antrópica puede ser igual o exceder a la recarga natural.

La cuantificación de la recarga urbana es una tarea compleja; estudios como el de Lerner (2002) indica que las fuentes de recarga en zonas urbanas se identifican mediante la piezometría, trazadores químicos y balances de agua, pero los tres métodos presentan

limitaciones. La recarga se cuantifica bien por sus componentes individuales (recarga natural, pérdidas de tuberías, pozos negros, etc.) o bien de forma holística.

En este trabajo se propone el cálculo de la recarga al acuífero superior en el área de la cuenca Matanza Riachuelo teniendo en cuenta la evolución de la transformación de la zona rural en urbana y adaptando una formulación matemática (Bocanegra, 2010) para evaluar la recarga urbana a través de componentes de origen natural y antrópico. Esta formulación incluye las pérdidas de las redes de agua, saneamiento y conductos pluviales, la recarga por excesos, escurrimiento superficial y acumulación, y por filtración en pozos sépticos.

La variabilidad espacial de la cobertura sanitaria se implementó en función de la cobertura de servicios de agua y cloacas.

La variación temporal de la recarga urbana es tratada en los modelos numéricos de flujo de agua subterránea como una función que reproduce este efecto y es un dato fundamental de entrada. La función de recarga es ingresada al modelo como un dato areal.

Los caudales de extracción de los pozos de industrias, bombas depresoras, de concesionarias de agua, etc. no son un parámetro de la función de recarga planteada pero si son utilizados en el balance para el cálculo de la recarga en el modelo. Como estos datos son generalmente puntuales, los mismos son ingresados individualmente en el modelo numérico.

Metodología

Área de Estudio

La cuenca del río Matanza Riachuelo (CMR) se localiza al este de Argentina y al NE de la provincia de Buenos Aires (Figura 1), abarcando parte de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y de catorce partidos de la provincia. La cuenca hidrográfica presenta una superficie de 2.065 km² con un desnivel máximo del relieve del terreno de 30 m y una longitud y ancho máximo de 72 y 42 km, respectivamente. El área posee pendientes muy bajas, conformando un paisaje de llanura típico.

Recarga Natural

Para el cálculo de la recarga en la zona rural se efectúa un balance hídrico en el suelo a paso diario. El balance se realiza mediante una hoja de cálculo en la que a la lluvia diaria se le descuenta el escurrimiento superficial evaluado según el método del Número de Curva (CN) del Servicio de Conservación de Suelos del

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA SCS, 1985). La fracción de la precipitación que no escurre, infiltra en el suelo y pasa a integrar su reserva de humedad.

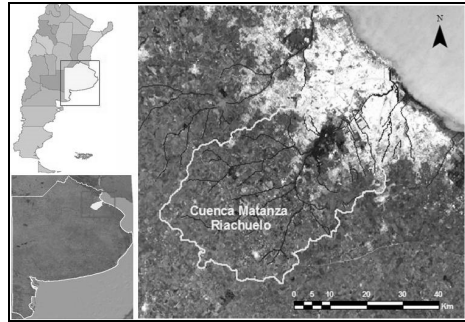


Figura 1. Cuenca del río Matanza Riachuelo.

La evapotranspiración potencial, ingresada como parámetro forzante del modelo, es utilizada para la determinación de la evapotranspiración real. Esta última se determina según una relación lineal que crece desde cero para reserva nula en el suelo (asimilable a punto de marchitez permanente) hasta la potencial para reserva completa (asimilable a capacidad de campo). El exceso diario de este balance es asignado a la recarga del acuífero freático. Las fluctuaciones del nivel en el acuífero es calculada por el producto de la recarga [mm] y el valor de la porosidad específica. Finalmente, la descarga del acuífero se simula mediante dos ecuaciones de goteo que utilizan dos niveles de base diferentes: uno que simula la descarga local y otra para la descarga regional.

El método CN expresa el volumen de escurrimiento como una función del volumen de lluvia, el almacenamiento y la abstracción inicial.

La asignación de un valor de CN a una cuenca dependerá del tipo y cobertura de suelo, condición hidrológica y condición de humedad antecedente. Con la metodología propuesta por USDA SCS (1985), el valor de CN adoptado para condiciones de humedad media se ajusta en una planilla de cálculo para condiciones seca o húmeda según la precipitación de los 5 días previos.

En este estudio, para caracterizar las precipitaciones en la zona se tuvieron en cuenta dos estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN); Estación Buenos Aires por presentar datos históricos confiables y Estación Ezeiza Aero por su ubicación dentro de la cuenca.

El cálculo de la recarga se realizó para el período 1906-2010. La evapotranspiración potencial (ETP) diaria desde el año 1956 a 2010 fueron provistas por el SMN y calculadas por el método de Penman Monteith. Los valores para el período anterior a 1956 se calcularon por el método de Thornthwaite a partir de las temperaturas observadas en la Estación Buenos Aires.

Para la calibración del modelo de recarga y dado que no se dispone de series históricas de niveles freáticos, se emplearon los niveles simulados con el modelo hidrológico MIKE SHE (DHI, 1998; Abbott et al., 1986a) implementado por el INA (2010).

El modelo calibrado fue posteriormente validado, comparando los niveles calculados con los observados en pozos de monitoreo y verificando que la fracción de agua que escurre se encuentre en el rango de los caudales aforados en las secciones de control.

Recarga en Zonas Urbanas

El cálculo de la recarga urbana se realizó teniendo en cuenta la evolución espacio temporal de la transformación de la zona rural en urbana. La Figura 2 presenta un esquema donde se identifican las diferentes componentes que se tienen en cuenta para la determinación de la expresión de recarga urbana.

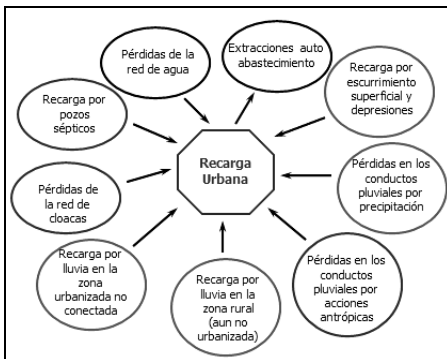


Figura 2. Esquema de los componentes de origen natural y antrópico que condicionan la recarga urbana.

La Ecuación 1 se presenta la expresión para evaluar dicha recarga a través de componentes de origen natural y antrópico, siendo ésta una modificación de la utilizada por Bocanegra (2010).

$$Ru = (Ex + \beta \cdot Esc) \frac{SR}{EJ} + (Ex \cdot SINC + \alpha \cdot (1 - SINC) \cdot P) \frac{SU}{EJ} + \frac{(PRa - Extr + \lambda \cdot Clo + \alpha \cdot Pls + PN)}{EJ} \quad (1)$$

donde:

- Ru = Recarga urbana (m/d)
- Ex = Exceso del balance hídrico (m/d)
- EJ = Ejido urbano = $SR + SU$ (m^2)
- SR = Superficie rural (permeable) (m^2)
- SU = Superficie urbana impermeable (m^2)
- $SINC$ = Coeficiente de superficie impermeable no conectada a la red pluvial
- α = coef. de pérdida en las redes pluviales
- β = coef. de infiltración del escurrimiento y almacenamiento superficial
- λ = coef. de pérdida en las redes sanitarias
- PRa = Pérdidas de la red de agua (m/d)
- $Extr$ = Extracciones domiciliarias para autoabastecimiento
- Clo = Caudal de líquidos cloacales (m/d)
- PN = Recarga por pozos negros (m/d)
- Pls = Caudal en la red pluvial proveniente de filtraciones de pozos negros y de las redes de agua potable y cloacas. (m/d)
- P = precipitación (m/d)
- Esc = escurrimiento superficial (m/d)

Los términos de la Ecuación 1 y Figura 2 tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Ejido Urbano EJ , para cada paso temporal, es igual a la suma de la superficie urbanizada impermeable y la superficie rural. La superficie rural contempla todas las áreas permeables dentro de la zona urbana (jardines, plazas, patios, etc.). Al comienzo de la serie temporal la superficie urbanizada impermeable ocupa una menor parte del ejido urbano y con el paso del tiempo crece el porcentaje de ocupación, llegando en algunos casos a anular la superficie rural.
- b) Excesos del balance hídrico Ex , son utilizados para determinar la recarga natural de la superficie permeable (rural) dentro del ejido urbano. Esta área varía en el tiempo en función del aumento del área impermeable.
- c) Recarga por la superficie impermeable no conectada a la red pluvial ($SINC$). Es el agua precipitada sobre áreas impermeables que es conducida a zonas permeables como jardines, parques, etc.

d) Pérdidas de redes de agua potable y cloacas. El caudal suministrado a la población sufre pérdidas en las redes de agua y luego en la red de saneamiento por deterioro de las mismas o por instalaciones de mala calidad.

e) Extracciones domiciliarias (*Extr*). En zonas urbanas no abastecidas por agua de red, las viviendas se abastecen por medio de pozos de bombeo domiciliarios.

f) Recarga por pozos negros (*PN*). La población sin servicio sanitario produce una recarga al acuífero a través de la disposición in situ de los efluentes domésticos.

g) Pérdidas de la red pluvial. La densificación de redes, el tipo, antigüedad y diámetro de las cañerías, así como la permanencia del caudal pico tienen un papel predominante en la recarga al acuífero por pérdidas de la red pluvial.

h) Recarga por escurrimiento superficial y acumulación. Este componente considera la recarga que produce el escurrimiento superficial y acumulación de agua de lluvia dentro del ámbito rural, que posteriormente ingresa a los colectores principales del ejido urbano. El escurrimiento superficial se calcula por el método CN del SCS (USDA-SCS, 1964).

Los coeficientes de pérdida en las redes cloacales y pluviales, y coeficiente de infiltración del escurrimiento y almacenamiento superficial se obtuvieron a partir de un análisis de sensibilidad simulando distintos escenarios por medio de la modelación numérica del flujo subterráneo.

Resultados

Cuantificación de la Recarga Natural

Los valores de recarga obtenidos con el modelo de balance fueron comparados con la evolución en el nivel de los pozos representados en la modelación hidrológica realizada por el INA (2010). Esto permitió calibrar los parámetros: capacidad de almacenamiento del suelo, número de curva para la condición de humedad intermedia, porosidad específica, y coeficientes de goteo y niveles de descarga local y regional del modelo de balance.

La Figura 3 presenta la variación de nivel en uno de los pozos simulados con el modelo hidrológico MIKE SHE comparado con el nivel calculado con el modelo de recarga empleado. Se observa que el nivel freático calculado con el modelo de recarga reproduce adecuadamente las variaciones del nivel simulado con MIKE SHE. Este comportamiento se observa en todos los pozos representados en el modelo hidrológico, por lo que el método utilizado

reproduce adecuadamente la variabilidad temporal de los niveles freáticos. La Tabla 1 presenta los valores de los parámetros del modelo utilizados para el cálculo de la recarga rural.

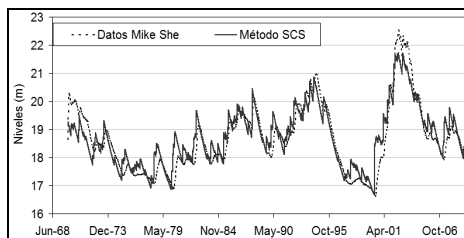


Figura 3. Comparación del nivel freático simulado con el modelo MIKE SHE y el método SCS.

Tabla 1. Valores usados en el cálculo de recarga rural.

CN (Condición II)	75
Porosidad específica	10.8 %
Almacenamiento	110

En el proceso de validación, los niveles freáticos determinados con el modelo de recarga representaron adecuadamente los valores y variaciones del nivel medido en el pozo 3F de la red de ACUMAR para el período 2008-2011 (Figura 4). Para verificar que los escurrimientos calculados están en el orden de los escurrimientos observados, se compararon los determinados en el balance y los aforados en una sección de cierre. La sección elegida fue la intersección del río Matanza con la calle Máxima Herrera con un área de aporte de aproximadamente 820 km². Se adoptó un caudal de 1.35 m³/s, correspondiente al caudal medio de los aforos mensuales realizados por ACUMAR entre octubre y diciembre de 2011, resultando similar a 1.38 m³/s correspondiente al caudal medio generado por la fracción de agua que escurre.

Cuantificación de la Recarga Urbana

Los parámetros de la recarga urbana adoptado son:

Ejido Urbano

El Ejido Urbano (*EJ*) de la zona de estudio tiene un gran desarrollo areal con características socio económicas y de cobertura de servicios sanitarios muy heterogéneas. En función de esto y para representar la variación espacial de la recarga, el *EJ* fue desagregado

en áreas de características socioeconómicas y de servicio homogéneas. De esta manera, se estimó la recarga urbana por cada partición del EJ.

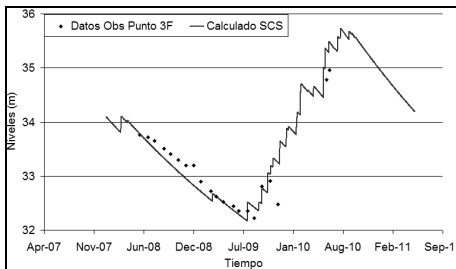


Figura 4. Niveles freáticos medidos en el pozo 3F y calculados con el método de SCS para el período 2008-2011.

Los EJ's se generaron combinando el mapa de los partidos de la provincia de Buenos Aires y el de la zonificación por cobertura de servicios de agua y saneamiento (Herrero y Fernández, 2008). De esta manera, se obtuvo una nueva zonificación de la región de estudio quedando discriminadas zonas con iguales características sanitarias. En Figura 5 se muestra el mapa resultante donde cada polígono es considerado como un EJ al cual se le asigna una zona de recarga distinta.

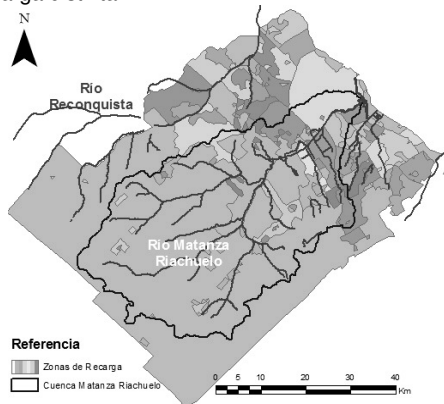


Figura 5. Zonas de recarga en el dominio del modelo numérico de agua subterráneas.

Estimación de la población

La información de base fueron los censos poblacionales de 1869 a 2010, los correspondientes al año 2001 y 2010 brindan los datos por partido y los censos anteriores refieren la información a otra división jurisdiccional de los partidos. La estimación de

la población para el período 1869-2010 se realizó manteniendo un área constante que es la que actualmente ocupa cada partido. Para los años actuales los datos se obtuvieron directamente del censo y para períodos anteriores, se estimó en base a la densidad poblacional y configuración territorial en cada período.

Áreas impermeables

El agua caída sobre las áreas impermeables pueden ser capturada por los sistemas pluviales y conducida a cursos de agua cercanos o bien, ser conducida a sectores permeables donde infiltran a través de la zona no saturada. Estas dos alternativas se producen porque no todas las superficies impermeables están conectadas a la red de drenaje. Parte de estas áreas drenan hacia zonas permeables adyacentes (patios, jardines, plazas) donde infiltran.

Para determinar el área que aporta a la red de drenaje pluvial es necesario conocer el área impermeable y el porcentaje no conectado a la red pluvial (SINC). La superficie impermeable en el dominio del modelo se estimó con base a la información generada por Quani (2011). En este trabajo, se obtuvo la cobertura del terreno diferenciada en área impermeable, vegetación natural y artificial y cuerpos de agua para la cuenca Matanza Riachuelo en el período 1976-2011.

La superficie impermeable no conectada se estimó en función de las características urbanas de los partidos y datos de bibliografía. El área se diferenció en tres categorías: Residencial-Comercial, Residencial y Urbano, para distinguir las áreas con una mayor densidad en la primera, a una menor densidad en la última. Con base en esta diferenciación se asignaron coeficientes de SINC que varían de 0 para superficie totalmente conectadas al sistema a 1 para áreas no conectadas.

Pérdidas en redes de distribución de agua potable

La información para la estimación de las pérdidas en las redes de distribución de agua potable se obtuvo de la revisión de los informes del ERAS (expedientes 10995/94, 12668/99, 13616/02), AySA (informes anuales de concesión) e INA (2010).

La información para determinar la variación de la cobertura de la red de agua potable en los partidos de la cuenca Matanza Riachuelo, se obtuvo de los informes anuales de Aguas Argentinas y AySA. Con base a esta información se confeccionó una planilla donde se calculó para cada ejido urbano el porcentaje de cobertura para diferentes años (Tabla 2). La

Tabla 3 muestra un ejemplo de las dotaciones por habitante por día para la zona de concesión, discriminada por partido o región para el año 2010.

Tabla 2 - Cobertura de agua potable en para cada *EJ*.

Ejido Urbano	Años				
	1976	1993	2001	2006	2011
1_Almte Brown	0%	100%	100%	100%	100%
2_Almte Brown	0%	8%	64%	63%	66%
4_Almte Brown	0%	0%	0%	0%	0%
1_Avellaneda	65%	100%	100%	100%	100%
2_Avellaneda	0%	5%	20%	19%	20%
1_CABA	82%	100%	100%	100%	100%
2_CABA	0%	100%	100%	100%	100%

Tabla 3 - Dotación por habitante para el año 2010 - AySA "Informe Anual año 2010".

Regiones	Pob Servida AySA [hab]	Agua Producida [m ³ /d]	Dotación [l/hab/d]
Capital Federal	2978873	2091887	702.2
Norte (San Isidro, San Fernando, Tigre, Vicente López, San Martín)	1243131	730967	588.0
Oeste (Matanza, Morón, tres de Febrero, Hurlingham, Ituzaingó)	1471152	752093	511.2
Sur (Alte. Brow, Lomas de Zamora, Lanús, Avellaneda, Quilmes, EE)	2046260	1373935	671.4

Para las áreas sin red de agua potable, se adoptó que la población se autoabastece del acuífero Pampeano con una dotación de 250 l/hab/d. Con este criterio se representó la variación de la recarga antes y después de realizada las obras de agua potable. La extracción de agua para autoabastecimiento debido a este criterio es considerado para toda la superficie del *EJ*.

En base a una fracción de pérdida del 30% en promedio, se estimaron las pérdidas en la red de distribución. Para los partidos fuera de la zona de concesión, los datos fueron calculados por proximidad y características socio económicas semejantes.

Utilizando los datos de población por radio censal, se calcularon los caudales de pérdida por día para las zonas con cobertura de red, que constituyen un aporte al acuífero freático. Del total de agua que se pierde de la red, se consideró que un 20% escurre hacia la superficie o bien es captada por los conductos pluviales o cloacales, de manera que solo el 80% del agua de las fugas llega efectivamente al acuífero freático. Los valores fueron calculados para el período 1906-2011 en base a los censos de población.

Pérdidas en redes de cloacas

Las pérdidas en la red cloacal están relacionadas con el caudal que transportan

(función de la población y consumo de agua) y el coeficiente de pérdidas α .

Para estimar el caudal, se adoptó una tasa de vuelco del 90% de la dotación que llega a los hogares en cada zona. La cantidad de agua que obtienen los hogares se determinó como la cantidad media producida por habitante, menos las pérdidas en la red.

Para zonas fuera de la concesión de AySA donde no se dispone de datos de bombeo o dotación por habitante, se adoptaron tasas de producción por habitante de 450 l/hab/d, para los usuarios conectados a redes de agua potable subterránea, y de 250 l/hab/d, para los habitantes autoabastecidos. En el caso de los habitantes servidos por el sistema central de AySA, se utilizaron los datos de dotación por partido informadas por la empresa (AySA, 2010). Los valores de los vuelcos a la red de cloacas fueron ajustados para el período 1906-2011 en base a los censos de población.

La superficie con cobertura de red cloacal esta definida para el año 2001 de acuerdo a Herrero y Fernández (2008). La cobertura de este servicio para años anteriores y posteriores al 2001 se obtuvo de los expedientes e informes citados en el apartado anterior. Con esta información se confeccionaron tablas con la evolución de la cobertura de la red de cloacas para cada *EJ* (similares a la Tabla 3).

La variación temporal de la cobertura de la red cloacal se produce por el aumento o disminución de la población servida dentro de las zonas establecidas por Herrero y Fernández (2008). De esta manera se reproduce la variación del servicio de saneamiento manteniendo la superficie de cobertura del 2001.

Cuando disminuye el nivel de cobertura del servicio se supone que la población afectada comienza a verter sus efluentes a los pozos negros. Con este criterio se representa la variación temporal del área cubierta por la red cloacal, por lo que la recarga urbana reproduce los efectos de la realización de obras cloacales.

El coeficiente de pérdidas α simula las fugas que ocurren en el sistema por deterioro de las cañerías, falta de adecuación de los diámetros al incrementar la población servida, elevada presión en los conductos y menor calidad constructiva. Este parámetro es difícil de estimar y no hay información disponible para el área. Para esta modelación se adopto un valor de 0,015 en coincidencia con el adoptado por Bocanegra (2010) y posteriormente se ajusto en el proceso de calibración.

Filtración de pozos negros domiciliarios

La filtración desde los pozos negros domiciliarios se calculó para la población no servida con cloacas de cada *EJ*. Se asumió que el 75% del agua usada va al pozo negro, recargando el acuífero freático. Los vuelcos a pozos negros estimados en cada *EJ* se implementaron en la recarga urbana, y sus valores se ajustaron para el período 1906-2011 en base a los censos de población y la cobertura de la red cloacal.

Pérdidas de la Red Pluvial

En gran parte del área de estudio coexisten los sistemas de desagüe pluvial y cloacal. El agua que ingresa a la red durante los eventos de precipitación corresponde a la lluvia caída sobre el área impermeable directamente conectada. El área impermeable conectada se obtuvo de multiplicar el área impermeable total por (1-SINC). La variación en el tiempo de este coeficiente y del área impermeable permitió representar el efecto de la filtración en el periodo 1906-2010.

El coeficiente de pérdidas de red pluvial fue estimado inicialmente en 0,025 (valor similar al utilizado por Bocanegra,2010) y posteriormente ajustado en el proceso de calibración. Este coeficiente se supone mayor a las pérdidas de la red cloacal debido a los materiales y técnicas constructivas de las redes pluviales.

Calculo de la Recarga Urbana

Para cada *EJ* se determinaron los distintos parámetros de la recarga urbana para cada paso de tiempo.

En la Figura 6 se presenta la recarga mensual del *EJ* de La Matanza con cobertura de red de agua potable y sin cloaca. Los cambios en la pendiente desde 1985 en adelante son consecuencia del impacto que produjo las diferentes obras de ampliación de la cobertura de la red de agua potable.

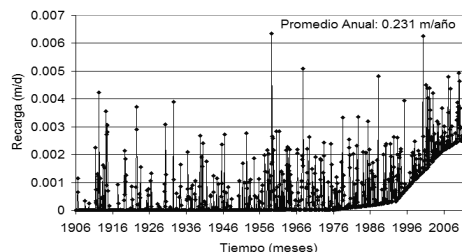


Figura 6. Recarga mensual del *EJ* de La Matanza con red de agua potable y sin cloacas.

El aumento de la población en aquellas zonas sin cobertura de servicios, produce una reducción en los valores de la recarga. Esto se debe a que en estas zonas la población extrae el agua para consumo y evacua sus aguas residuales en pozos negros (no hay importación ni exportación de agua). La recarga del *EJ* de Quilmes se presenta en la Figura 7.

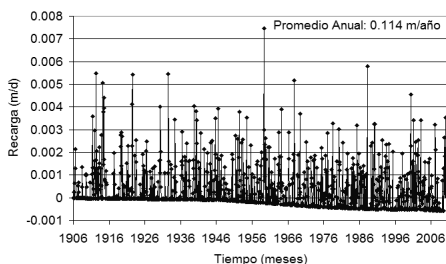


Figura 7. Recarga mensual del *EJ* de Quilmes sin red de agua y sin cloacas.

La variación temporal de los componentes de la ecuación de la recarga urbana para el *EJ* de Lanús se muestran en la Figura 8. En ésta se observan cambios en las pendientes producto de las obras para incrementar la cobertura de los servicios de agua y cloacas en el *EJ*. Por ejemplo, la recarga por pozos negros decae abruptamente en la década del 90 producto de las obras de cloacas realizadas en el período.

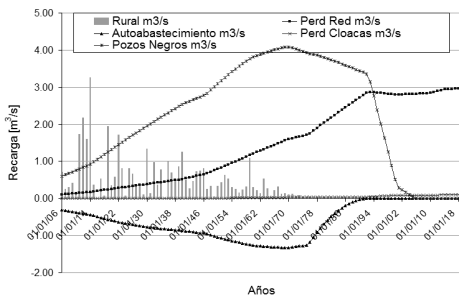


Figura 8. Variación temporal de los valores de los componentes de la recarga urbana para el *EJ* de Lanús con red de agua y con cloacas.

En la Figura 9 se observa que los valores más altos de recarga urbana para el periodo 1906-2011 corresponden a las zonas con cobertura de red de agua, con/sin cloaca y con alta densidad de población que causa mayor consumo de agua, tales como CABA, Avellaneda y Lanús, entre otros. Los *EJ* sin red de agua potable, aunque con alta densidad de habitantes, presentan valores menores de

recarga debido a que se abastecen de agua subterránea, por tanto no importan agua que genera una mayor recarga.

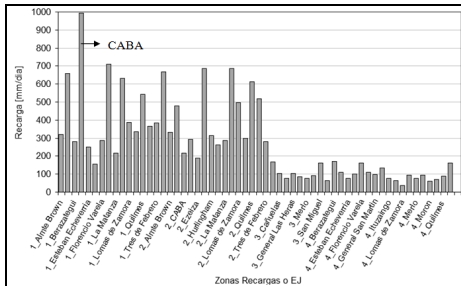


Figura 9. Promedio de la Recarga urbana media diaria para el período 1906-2011 para cada E.J.

Conclusiones

El trabajo permitió apoyar la definición del modelo conceptual de funcionamiento del sistema acuífero, mediante la identificación de los procesos que condicionan el movimiento del flujo en las áreas de recarga y descarga.

La zonificación del área de estudio permitió estimar los valores de recarga para las áreas rural y urbana. A su vez, el área urbana fue segregada con base a las características particulares de cada zona a fin obtener valores de recarga coherentes en cada una de ellas.

Los valores de recarga obtenidos para la zona rural fueron validados y demuestran que el método aplicado resulta adecuado para su determinación.

Para el cálculo de la recarga urbana en los diferentes ejidos del área de estudio se adaptó una formulación matemática para evaluar los diferentes componentes y se consideró la evolución espacio – temporal de la transformación de la zona rural en urbana. Los valores obtenidos para cada ejido son razonables y reflejan el comportamiento de la variabilidad espacial y temporal de la cobertura de los servicios de agua potable y cloacas.

Referencias

Abbott MB, Bathurst JC, Cunge JA, O'Connell, Rasmussen, 1986a. An introduction to the European hydrological system - Système Hydrologique Européen, SHE, 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system". *Journal of Hydrology*, 87: 45-59.

AySA, 2010. Informe anual 2010. 5to año de concesión 3191 pp

Bocanegra E, 2010. Desarrollo de herramientas hidrogeoquímicas y numéricas aplicadas a la evaluación de la explotación del Acuífero de Mar del Plata. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Mar del Plata. 119 p.

Custodio E (2004) Hidrogeología urbana: una nueva rama de la ciencia hidrogeológica. *Boletín Geológico y Minero*, 115, Núm. especial: 283-288 pp.

Danish Hydraulic Institute DHI, 1998. MIKE SHE Water Movement – User Guide and Technical Reference Manual. Edition 1.1.

Lerner DN (1986) Leaking pipes recharge groundwater. *Ground Water*. 24: 654-662.

Lerner DN (2002) Identifying and quantifying urban recharge: a review. *Hydrogeology Journal*. 10:143–152.

Herrero, A.C., Fernández, L., 2008. De los ríos no me río: diagnóstico y reflexión sobre las Cuenclas Metropolitanas. – 1ª ed. – Buenos Aires. Temas Grupo Editorial

INA, 2010. Balance de Agua Subterránea en la Cuenca Del Matanza-Riachuelo Mediante Modelación Numérica. Instituto Nacional Del Agua Proyecto INA 1.207 Informe LHA 01-1.207-10 Ezeiza. 119 pp.

Informes anuales presentados por Aguas Argentinas durante el periodo de concesión al Ente Regulador de Agua y Saneamiento (ERAS) (expedientes 10995/94, 12668/99, 13616/02

Provincia de Buenos Aires: censos de 1869, 1881, 1895, 1914, 1947, 1960, 1970, 1980, 1991 y 2001, 2011 de la Dirección Provincial de Estadística (DPE) del Ministerio de Economía de la Provincial de Buenos Aires: <http://www.ec.gba.gov.ar/Estadistica/pobvibov.html>

Quaini K, 2011. Análisis Espacio-Temporal De La Cuenca Matanza Riachuelo, Provincia De Buenos Aires. Tesis de maestría AEARTE Universidad Nacional de Córdoba, 28 de julio de 2011. 123 pp

USDA SCS, 1985. National Engineering Handbook, Section 4. U.S. Govt. Printing Office, Washington, DC.