

Caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea y superficial del corredor Mar del Plata-Tandil (provincia de Buenos Aires)

María Lourdes Lima^{1,2}, Héctor Massone², Asunción Romanelli^{1,2}, Melisa Glok Galli^{1,2}

¹Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, (CONICET), Buenos Aires, Argentina

²Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350 Nivel 1, 7600, tel 2234754060, Mar del Plata, Argentina.

Mail de contacto: mlima@mdp.edu.ar

RESUMEN

El Corredor Mar del Plata-Tandil (CMT) constituye una faja territorial de unos 170 km de longitud y entre 8 y 15 km de ancho, con su eje en la Ruta Nacional 226, ocupando casi 2000 km² de superficie. El objetivo del trabajo fue elaborar una caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea y superficial del CMT. Para ello se recolectaron 200 muestras de agua subterránea y 12 de agua superficial para su análisis físico-químico. Los resultados mostraron dos grupos principales de aguas subterráneas, uno tipo bicarbonatada sódica (71%) y otro bicarbonatada cálcica y/o magnésica (29%). El agua superficial se clasificó dentro del tipo bicarbonatada sódica en su gran mayoría. La profundidad del nivel freático presentó valores entre 0.5 y 73.4 metros bajo el nivel del terreno. La concentración de nitratos oscila entre 0 y 142,6 mg/l, se determinó que el 30% de las muestras analizadas está por encima de 45 mg/l, límite admitido por la legislación vigente en Argentina.

Palabras clave: Hidrogeoquímica, Agua Subterránea, Agua Superficial.

ABSTRACT

The Mar del Plata-Tandil Corridor (MTC) covers a strip of land of 170 km long and between 8 and 15 km wide, with its axis at 226 National Road, occupying nearly 2000 km². The aim of this work was to develop a hydrogeochemical characterization of groundwater and surface water in the CMT. A total of 200 groundwater samples and 12 surface water samples were collected for physico-chemical analysis. The obtained results showed two main groundwater groups, a sodium bicarbonate type (71%) and other calcium and / or magnesium bicarbonate (29%). Regarding surface water, the sodium bicarbonate water type dominates. The water table depth varied between 0.5 and 73.4 mbgl (meters below ground level). Nitrate concentration in groundwater ranged between 0 and 142.6 mg/l, it was determined that 30% of the analyzed samples exceeds the 45 mg/l, limit allowed by Argentine law.

Key words: Hydrogeochemistry, Groundwater, Surface water.

Introducción

La química del agua subterránea permite conocer los procesos que ha sufrido el agua desde que se infiltra hasta su muestreo, el tipo de terreno que ha atravesado, y los procesos de mezcla y de contaminación. El conocimiento de las características químicas del agua vinculadas a la hidrogeología tiene como finalidad fundamental establecer relaciones entre la composición, distribución y circulación del agua en los acuíferos y la geología, mineralogía y sistema de flujo de estos. Además ayuda a establecer la aptitud frente a los posibles usos y prever los eventuales inconvenientes o perjuicios que su utilización podría producir a determinados procesos industriales y/o a la

agricultura, ganadería y/o esencialmente al consumo humano (Appelo y Postma, 1993).

La interacción agua subterránea-agua superficial es un aspecto importante ya que el agua de arroyos, lagos y demás humedales continuamente interactúa con el acuífero, incrementando el tiempo de contacto entre el agua y los materiales geológicos químicamente reactivos (Sophocleous, 2002). En general, la composición química del agua de los humedales es el resultado de una combinación de factores litológicos, climáticos, biológicos o antrópicos y de los procesos geoquímicos que son consecuencia de su interacción con el acuífero y las aguas superficiales de su cuenca de drenaje (Fernández Aláez et al., 2006)

El aumento en el uso de los recursos hídricos subterráneos ha conducido a la

necesidad de una mayor comprensión de la calidad regional del agua subterránea y su adecuación para diversos usos (Edmunds et al., 2003). Esta comprensión de la calidad del agua subterránea a nivel regional puede basarse en la cartografía regional de los distintos parámetros hasta en los modelos basados en los procesos que describen su evolución química (Wanty et al., 2009). El objetivo del trabajo fue elaborar una caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea y superficial del Corredor Mar del Plata-Tandil

para aportar a un mejor conocimiento hidrogeológico de la zona de estudio.

Área de estudio

El área de estudio se localiza en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. El denominado Corredor Mar del Plata-Tandil (CMT), presenta como eje estructurante a la Ruta 226 (Fig. 1), que vincula las ciudades de Mar del Plata y Tandil; posee una extensión de 170 km de longitud y entre 8 y 15 km de ancho ocupando casi 2000 km² de superficie.

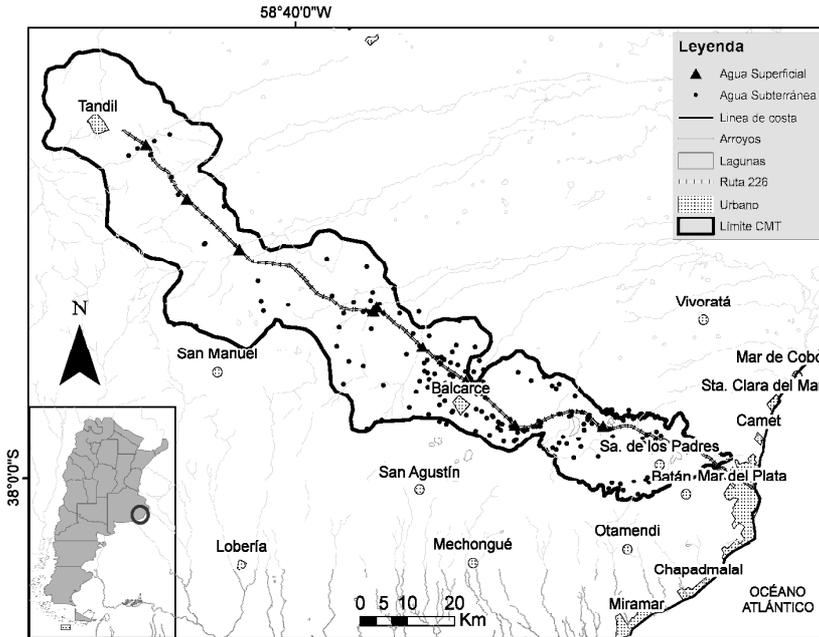


Figura 1. Localización del área de estudio.

El límite del Corredor corresponde con el límite biofísico del sistema morfodinámico de sierras (como límite suroeste y noroeste del área) en combinación con la divisoria entre los sistemas de loma y de llanura fluvioeólica (límite noreste del área), este criterio tiene estrecha relación con la dinámica física del área e integra las sierras y lomas que se corresponden con áreas de gran interés por los servicios ambientales que prestan.

El eje 226, en el tramo denominado Corredor Mar del Plata-Tandil, junto a los tres centros urbanos Mar del Plata, Balcarce y Tandil, es acompañado en su dinámica por una serie de localidades menores, que en conjunto

integran una región, cuya estructura y funcionalidad, se define por diferentes flujos de intercambio en materia productiva, social, cultural, institucional, financiera, etc. (Mikkelsen et al., 2012).

Desde el punto de vista geológico, el área corresponde a las denominadas Sierras Septentrionales de la Provincia de Buenos Aires, o Sistema de Tandilia; éste representa una provincia fisiográfica que, con forma de cordón discontinuo de sierras, cerros y lomadas, emerge en la llanura pampeana bonaerense con orientación general NO-SE. De altura reducida (entre 50 y 520 m sobre el nivel del mar), las sierras se extienden por más de 300 km desde

Mar del Plata hasta Olavarría (Teruggi y Kilmurray, 1975).

En base a lo propuesto por Sala (1975), es posible reconocer en la zona de estudio un basamento impermeable, que incluye rocas del Basamento Precámbrico y ortocuarcitas eopaleozoicas de la Formación Balcarce (Dalla Salda e Iñiguez, 1979), y la presencia de la sección epiparaniana (Massone et al., 2005), que es la secuencia más importante desde el punto de vista hidrogeológico, ya que constituye el acuífero principal de la región (Martínez y Bocanegra, 2002). A su vez, este yace otras veces directamente sobre sedimentos loessoides pleistoceno-holocenos (*Formación Pampeana*). Queda definido así un acuífero clástico del tipo "libre y multicapa" para el área de estudio (Acuífero Pampeano), cuyo espesor varía desde unos pocos metros hasta más de 100 metros. Las diferentes capas acuíferas se separan por niveles discontinuos de permeabilidad relativa menor, representados por niveles limo-arcillosos e intercalaciones de tosca (Martínez y Bocanegra, 2002).

Esta zona posee una singular riqueza desde el punto de vista de los recursos hídricos, tanto superficiales (Laguna de Los Padres, Laguna La Brava, Arroyo Dulce, entre otros) como subterráneos (área de recarga del Acuífero Pampeano). La recarga del acuífero es a expensas de los excedentes de lluvias del ciclo hidrológico de la región. La red de drenaje está bien definida con arroyos de escasa expresión topográfica, que descienden de las sierras en dos vertientes, norte y sur. En general se destaca el carácter efluente de la red hídrica superficial con respecto al acuífero en la mayor parte del área de estudio (Massone 2005; Lima 2012; Romanelli 2012).

Metodología

Para la realización del trabajo hidrogeológico, se llevaron a cabo tareas de campo y además se realizó una recopilación de datos hidrogeológicos previos (Massone 2005, Glok Galli et al., 2011, Romanelli 2012.). Se tomaron 200 muestras de agua subterránea a partir de pozos de riego, de abastecimiento domiciliario y molinos que captan del acuífero Pampeano (Fig. 1). Los valores de pH, alcalinidad y conductividad eléctrica fueron determinados "*in situ*" y los niveles freáticos, medidos con una sonda eléctrica bipolar.

Además se muestrearon las nacientes de los arroyos principales de la zona. Se recopilaron en total 12 muestras de los arroyos Vivoratá, Dulce, El Pantanoso, Crespo, El Verano, Napaleufú, Las Chilcas y Tandileufú.

Los análisis químicos se realizaron a partir de métodos estándar, en el laboratorio de Hidroquímica e Hidrología Isotópica del Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Los iones mayoritarios calcio y magnesio fueron determinados por titulación complejométrica con EDTA, sodio y potasio por espectrometría de llama, cloruro por el método de Mhor, y sulfato por turbidimetría. Las determinaciones químicas se hicieron siguiendo la metodología detallada en APHA (1992). La información hidroquímica fue analizada mediante una caracterización estadística general y diagramas convencionales de Piper (Hem, 1992), utilizando el paquete de computación AQUACHEM 4.0 (Calmbach y Waterloo Hydrogeologic Inc., 2003).

Resultados

Contenido iónico del agua subterránea y parámetros físico-químicos

En la zona de estudio se observan dos grupos principales de aguas subterráneas, uno de tipo bicarbonatado sódico y otro bicarbonatado cálcico y/o magnésico. Las aguas del primer tipo (71%) son las más comunes y se distribuyen a lo largo de toda la zona con una CE promedio de 854.64 $\mu\text{S}/\text{cm}$, alcanzando valores de hasta 1790 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Presentan un pH promedio de 7,57 y un rango de variación de 6,81 a 8,77 m, con una dureza media de 214,44 mg/l fluctuando entre 43,2 y 560 mg/l, y una alcalinidad promedio de 602,23 mg/l variando entre 193 mg/l y 1290,4 mg/l. Por el otro lado, las aguas de tipo bicarbonatado cálcico y/o magnésico representan un 29%, en este grupo predomina el ión magnesio y se encuentran en menor número muestras que son $\text{Mg}^{+2}\text{-Ca}^{+2}$, y unas pocas, sólo Ca^{+2} . Poseen en general valores de CE inferiores a 880 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un promedio de 714,63 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Se caracterizan por tener un pH medio de 7,34 variando entre 6,76 y 8,15, con una dureza promedio de 385,84 mg/l con valores de 58 a 896,6 mg/l, y una alcalinidad promedio de 446,81 mg/l.

Respecto al origen y fuentes de los principales iones del agua subterránea en la zona, el Na^+ y el Mg^{+2} se atribuyen a la hidrólisis del feldespato y del vidrio volcánico presentes en el sedimento loésico, respectivamente (Massone et al. 2005).

La evolución química del agua en los acuíferos depende de los minerales con los que entre en contacto y de la duración de este contacto, lo que a su vez está relacionado a la velocidad del flujo subterráneo. Respecto al origen y fuentes de los iones predominantes en

el agua subterránea del área, el Na^{+2} y el Mg^{+2} se atribuyen a la hidrólisis del feldespato y del vidrio volcánico presentes en el sedimento loésico, respectivamente (Logan et al., 1999). La concentración de bicarbonatos en el agua subterránea es controlada por la disolución de calcita presente en los sedimentos que constituyen el acuífero en forma diseminada y

estratiforme (Quiroz Londoño 2009; Romanelli 2012).

La variación de las facies hidroquímicas en la zona de estudio fue analizada mediante el diagrama triangular de Piper (Fig. 2).

La Tabla 1 y 2 muestra los principales parámetros estadísticos del contenido iónico de los dos grupos de agua subterránea predominantes en la zona de estudio.

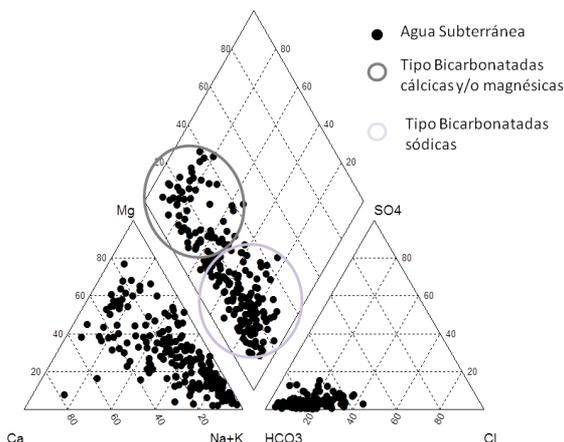


Figura 2. Contenido iónico de las aguas subterráneas del CMT.

Tabla 1. Parámetros estadísticos de la composición química del agua subterránea bicarbonatada sódica del CMT.

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desvío estándar
Ca^{+2}	mg/l	5,00	137,16	29,68	19,47
Mg^{+2}	mg/l	2,54	115,00	31,66	20,64
Na^+	mg/l	52,10	511,00	215,47	96,39
K^+	mg/l	0,00	30,00	7,88	6,73
Cl^-	mg/l	23,70	286,00	76,06	48,30
HCO_3^-	mg/l	181,00	1290,40	634,04	209,38
SO_4^{-2}	mg/l	1,00	110,00	19,90	18,03
NO_3^-	mg/l	0,00	142,60	31,49	29,24

En lo que respecta a los parámetros físico-químicos medidos en las muestras de agua subterránea, se detectaron valores de CE de 328 a 1790 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con un valor medio de 813,65 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El pH osciló entre 6,76 a 8,77 con un valor medio de 7,58. La temperatura registrada varió de 12,2 °C a 17,9 °C con un valor promedio de 16,14 °C.

El contenido de nitratos en la zona varió entre 0,0 y 142,60 mg/l, con un promedio de 35,34 mg/l, y una desviación estándar de 27,96. El 30 % de las muestras analizadas está por

encima de 45 mg/l, límite admitido por la legislación vigente en Argentina.

Los niveles freáticos de la zona presentan un rango de variación de 0,5 a 73,4 mbnt (metros bajo el nivel del terreno). Los valores predominantes del espesor de zona no saturada (ZNS) en el área son los menores a 10 m.

Tabla 2. Parámetros estadísticos de la composición química del agua subterránea bicarbonatada cálcica y/o magnésica del CMT.

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desvío estándar
Ca ⁺²	mg/l	4,54	245,99	62,40	43,07
Mg ⁺²	mg/l	14,64	185,00	65,09	32,02
Na ⁺	mg/l	13,00	193,00	55,25	34,16
K ⁺	mg/l	1,25	36,00	7,84	7,02
Cl ⁻	mg/l	9,00	141,00	54,22	32,17
HCO ₃ ⁻	mg/l	73,00	967,70	461,03	162,13
SO ₄ ⁻²	mg/l	1,00	90,00	17,53	14,88
NO ₃ ⁻	mg/l	0,00	99,19	37,10	25,58

Contenido iónico del agua superficial y parámetros físico- químicos

Los arroyos de la zona de estudio presentaron valores medios de CE de 979,16 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un rango de variación de 566 a 1550 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El pH varió de 7,22 a 9,46 con un promedio de 7,81. La temperatura media fue de 18,8 °C con un rango de 10,9 – 23,2 °C.

El contenido iónico de las muestras de los cursos de agua fue ploteado en un diagrama de Piper (Fig. 3), el cual clasificó al agua superficial del área como de tipo bicarbonatado sódico en su mayoría. Dos muestras fueron clasificadas dentro del tipo bicarbonatado magnésico, correspondientes a los arroyos Napaleufú (SNF) y Las Chilcas (SCH), ubicados en el tramo Balcarce – Tandil. Los cationes en orden de abundancia para el agua de los arroyos fueron sodio, magnesio, calcio y potasio. En lo que

respecta a los aniones se observó el siguiente orden: bicarbonatos, cloruros, carbonatos y sulfatos.

En forma general, los arroyos presentaron un buen agrupamiento en los aniones siendo siempre aguas de tipo bicarbonatadas, mientras que en los cationes se observó mayor dispersión entre los tipos magnésico y sódico. Los parámetros estadísticos del contenido iónico de estos cursos de agua se muestran en la Tabla 3.

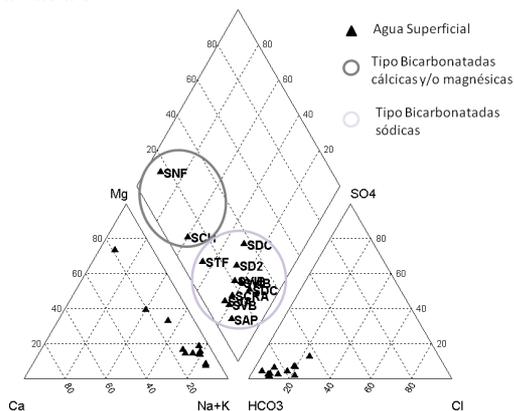


Figura 3. Contenido iónico de las aguas superficiales del CMT.

Tabla 3. Parámetros estadísticos de la composición química del agua superficial del CMT.

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Media	Desvío estándar
Ca ⁺²	mg/l	15,00	60,00	32,74	13,45
Mg ⁺²	mg/l	21,00	76,40	40,36	16,16
Na ⁺	mg/l	12,00	470,00	271,64	126,50
K ⁺	mg/l	5,00	25,00	15,72	6,14
Cl ⁻	mg/l	29,40	150,00	75,97	43,70
HCO ₃ ⁻	mg/l	506,00	1067,20	767,45	161,32
CO ₃ ⁻²	mg/l	26,20	90,90	55,61	20,77
SO ₄ ⁻²	mg/l	13,00	115,00	41,33	32,50
NO ₃ ⁻	mg/l	2,20	16,00	8,38	4,71

Conclusiones

En la zona de estudio se observaron dos grupos principales de aguas subterráneas, uno tipo bicarbonatado sódico y otro bicarbonatado cálcico y/o magnésico. La tendencia evolutiva común en las aguas subterráneas (Chevorateb, 1955), define que evolucionan desde la facies MgCaHCO₃ en la zona de recarga hasta NaHCO₃ en la zona de descarga. En la zona de estudio el principal

inconveniente encontrado al tomar cómo límite el área de trabajo del Corredor Mar del Plata-Tandil, es que espacialmente las cuencas de drenaje en ésta región tienen un desarrollo oeste-este, mientras que el corredor en estudio se desarrolla en sentido noroeste-sudeste, lo cual llevaría a considerar una transversalidad que no responde a la dinámica natural. Es por esto que al analizar la hidroquímica en esta área, no se evidencia una marcada evolución hidrogeoquímica en el sentido de dirección del

flujo, dado que el área corresponde a la zona de recarga del acuífero Pampeano y a las nacientes de los cursos de agua superficial (Arroyo Grande, Arroyo Dulce, Arroyo Vivoratá y otros menores) de la vertiente norte del Sudeste Bonaerense, a partir de la divisoria que constituye el Sistema de Sierras Septentrionales de la Provincia. El agua superficial coincide con la composición química del agua subterránea, corroborando el carácter efluente de la red hídrica superficial con respecto al acuífero en la mayor parte del área de estudio.

La fuente original de nitratos para este acuífero es atribuida a fuentes de contaminación de tipo difusa, principalmente fertilizantes orgánicos e inorgánicos. La concentración de nitratos en la zona evidenció que el 30% de las muestras está por encima de 45 mg/l, límite admitido por la legislación vigente nacional (Código Alimentario Argentino, CAA 2012). Considerando la presencia de áreas de espesor de ZNS menores a 10 m, un uso del suelo esencialmente agrícola y valores de nitratos que superan el límite admitido en el agua subterránea, se recomienda realizar una evaluación de peligrosidad de contaminación que contemple la vulnerabilidad del acuífero y las características de la carga contaminante real o potencial.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Téc. Químico G. V. Bernava por la realización de los análisis químicos y al Téc. Hidrógrafo A. Ferrante por su colaboración en los muestreos

Referencias

APHA. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC, 1100 pp.

Appelo CAJ, Postma D 1993. *Geochemistry, groundwater and pollution*. A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 563 pp.

Chebotarev, I.I. 1955. Metamorphism of Natural Waters in the Crust of Weathering. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 8, 22-48.

Código Alimentario Argentino 2012. Law 18284, Chapter XII, Non alcoholic beverages. Hidric beverages, water and sparkling water, arts. 982- 1079.

Dalla Salda, L. e Iñiguez Rodríguez, A. 1979. La Tinta. Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires. *VII Congreso Geológico Argentino*, 1: 539-550, Neuquén.

Davis, S.N. y De Wiest, R. 1971. Hidrogeología Ediciones Ariel, Barcelona-España, p.563.

Edmunds, W.M., P. Shand, P. Hart y R. S.Ward. 2003. The natural (baseline) quality

of groundwater: a UK pilot study. *Sci. Total Environ.* 310:25–35.

Fernández Aláez, C., Fernández Aláez, M., Trigo Domínguez, C. & B. L. Santos. 2006. Hydrochemistry of northwest Spain ponds and its relationships to groundwaters. *Limnetica*, 25(1-2): 433-452.

Glok Galli, M., Martínez, D.E., Kruse, E.E., Lima, L. y Grondona, S.I. 2011. Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de las nacientes de la Cuenca de la laguna Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires. *VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*. 76-83. Salta, Argentina.

Hem, J.D. 1992. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. *U.S.G.S. Water-Supply Paper*, 2254, 263 pp.

Lima ML. 2012. Dinámica del uso de la tierra y Cambios de vulnerabilidad del acuífero a la contaminación en la cuenca del Arroyo Dulce, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral UNMdP, 239 pp.

Logan W. S., M. Auge y H. O. Panarello. 1999. Bicarbonate, sulphate and chloride water in a shallow, clastic-dominated coastal flow system, Argentina. *Groundwater*, 37 (2): 287-295 pp.

Massone, H.E., Martínez, D.E. y Tomás, M. 2005. Caracterización hidroquímica superficial y subterránea en la Cuenca Superior del Arroyo Grande (Prov. de Buenos Aires). *II Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas de Hidrología Subterránea: relación aguas superficiales-aguas subterráneas*, Actas, 47-55. Río Cuarto. Córdoba.

Martínez, D.E. y Bocanegra, E.M. 2002. Hydrochemistry and cationic exchange processes in the coastal aquifer of Mar del Plata, Argentina. *Hydrogeology Journal*, 10 (3), 393-408.

Massone, H.E., Martínez, D.E. y Tomás, M. 2005. Caracterización hidroquímica superficial y subterránea en la Cuenca Superior del Arroyo Grande (Prov. de Buenos Aires). *II Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas de Hidrología Subterránea: relación aguas superficiales-aguas subterráneas*, Actas, 47-55. Río Cuarto. Córdoba.

Massone H (2003) *Geología y Planificación Territorial en la Cuenca Superior del Arroyo Grande, Partido de Balcarce, Provincia de Buenos Aires*. Tesis Doctoral Inédita. UNLP, 237 pp.

- Mikkelsen C.A., Sagua M., Massone H., Tomás M. 2012. Las localidades menores y su dinámica territorial en el Corredor Mar del Plata-Tandil . *I Jornadas Nacionales de Ambiente 2012 - FCH - UNICEN - Tandil Problemas ambientales en el ámbito rural y urbano Ámbito urbano* . Actas de Trabajos completos, 580-599. ISBN 978-950-658-315-6.
- Quiroz Londoño OM. 2009. *Hidrogeología e Hidrogeoquímica de las Cuencas de los Arroyos Tamangueyú y El Moro Provincia de Buenos Aires*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. 292 pp.
- Romanelli A. 2012. *Evaluación ambiental de lagunas pampásicas del Sudeste Bonaerense. Diagnóstico y perspectivas de gestión sustentable*. Tesis Doctoral UNMdP, 267 pp.
- Sala, J.M. 1975. Recursos Hídricos. Relatorio VI, *Congreso Geológico Argentino*. 169-194. Bs. As.
- Sophocleous, M.A. 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal*, 10:52–67.
- Teruggi, M.E. y Kilmurray J. 1975. Tandilia. En *Geología de la Provincia de Buenos Aires. VI Cong. Geol. Arg.*, Relatorio: 55-77. BsAs.
- Wanty, R. B., B. Richard, M. B. Goldhaber, J. M. Morrison y L. Lee. 2009. Regional variations in water quality and relationships to soil and bedrock weathering in the southern Sacramento Valley , California , USA . *Applied Geochemistry*, 24: 1512–152.