

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS AGUAS DE ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN UNA CUENCA DEL FALDEO NORTE DEL SISTEMA SERRANO DE TANDILIA

Dipardo B.^{a,b}, Barranquero R. S.^{a,c}, Varni M. R.^d, Landa R.^e, Etcheverría S. G.^f y Ruiz de Galarreta V. A.^a

^a*Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales-CIC, FCH, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, ARGENTINA*

^b*Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, ARGENTINA*

^c*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, ARGENTINA*

^d*Instituto de Hidrología de Llanuras-CIC, ARGENTINA*

^e*Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, ARGENTINA*

^f*Facultad de Ciencias Económicas y Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, ARGENTINA*

e-mail: brunodipardo@gmail.com

RESUMEN

El trabajo se realizó en la cuenca del arroyo Chapaleofú, cuyas nacientes se ubican en el faldeo Norte del sistema serrano de Tandilia en el centro-sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). La importancia del estudio de esta cuenca rural radica en dos causas principales: por un lado, corresponde a la región pampeana en la cual la funcionalidad de los ecosistemas se modificó fuertemente para lograr mayor productividad agrícola-ganadera, siendo los recursos hídricos uno de los componentes más afectados por ese cambio; por otra parte, esta cuenca es representativa de otras cuencas serranas de la región cuyos arroyos son únicos relictos de ciertas especies acuáticas en la provincia de Buenos Aires. El objetivo fue la caracterización físicoquímica del recurso hídrico superficial en la totalidad de la cuenca, teniendo en cuenta que sólo existen antecedentes parciales de este tipo de estudio. Para ello se realizó un muestreo de cuatro días consecutivos en octubre de 2019; se determinó el caudal y se tomaron muestras de agua superficial en doce sitios representativos de la cuenca principal y de sus cuencas menores de aporte. En el campo se realizaron determinaciones de: conductividad, pH, temperatura, oxígeno disuelto y carbonatos/bicarbonatos. En el Laboratorio de Análisis Bioquímicos y Minerales, de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, se determinaron: cloruros, sulfatos, nitratos, calcio, magnesio, sodio, potasio y dureza. Se registraron a su vez los usos de suelo aledaños a los sitios de toma de muestras. En términos generales puede señalarse que: el pH fue alcalino en todos los casos, el oxígeno disuelto mostró un promedio de 84%, los valores de cloruros fueron inferiores a 60 mg/l y los de nitratos fluctuaron entre 15 y 29 mg/l, infiriéndose en principio que no habría rasgos indicativos de contaminación.

Palabras Clave: Agua superficial, Muestreo de aguas, Química del agua, Uso de la tierra, Medio ambiente

INTRODUCCION

En la llanura pampeana argentina desde la década de 1990 y comienzos del nuevo siglo una intensificación agrícola estuvo acompañada por una intensificación de los planteos ganaderos. Este nuevo escenario impuso una alta densidad de animales sometidos a un engorde a corral (conocido como feed-lot) con granos y forrajes procesados. La agricultura aporta la mayor parte de los insumos que requiere la ganadería, y ambas actividades, que antes se articulaban en esquemas extensivos de rotación de cultivos, ahora aparecen desacopladas y altamente especializadas, inclusive con administraciones independientes (Viggliozzi E.F., 2007). Tal cambio introdujo una modificación adicional en la funcionalidad de estos ecosistemas que, para sostener una mayor productividad, reciben más insumos (fertilizantes y pesticidas) y generan más residuos y desechos que afectan al ambiente en general y a los recursos hídricos en particular (Viggliozzi E.F., 2008). La agricultura es la base de la alimentación mundial (FAO, 2018) pero produce impactos negativos de diversas maneras y en distintos niveles sobre los recursos naturales (Goudie A., 2013). Sus principales impactos son: degradación de suelos; afectación de ecosistemas terrestres y acuáticos; contaminación de aguas superficiales y subterráneas: presión sobre la oferta hídrica natural; y, en algunas situaciones, disminución de la calidad del aire (Shiferaw et al, 2005). La contaminación de recursos hídricos subterráneos y superficiales, está asociada a la aplicación de agroquímicos, principalmente fertilizantes y pesticidas, que son transportados de diferentes maneras hasta los cuerpos hídricos. A este tipo de contaminación se la denomina contaminación difusa por agroquímicos (Custodio et al, 2012), y se refiere a los contaminantes que afectan los cuerpos hídricos y que provienen de fuentes no puntuales bien sea de origen urbano o rural (Ferrier et al, 2005).

En este contexto la elaboración de un diagnóstico de la situación ambiental del recurso hídrico superficial realizado a través de la información recolectada en redes de monitoreo es la base para la elaboración de planes, programas y proyectos para realizar una gestión ambientalmente sustentable.

En el enfoque de los recursos hídricos como sistemas complejos y dinámicos, en el cual las actividades humanas son inherentes a los mismos, cobra importancia integrar los aspectos naturales y sociales para mejorar su comprensión; sobre todo al advertir el dominio en la investigación por parte de hidrólogos, con una contribución limitada y posiblemente insuficiente de científicos sociales (Krueger et al, 2016; Xu et al, 2018).

En el partido de Tandil diversos estudios antecedentes se han realizado sobre el recurso hídrico superficial. Cortelezzi A., 2012 realizó la caracterización fisicoquímicas de los siete arroyos del partido de Tandil incluyendo cuatro sitios de muestreo en el arroyo Chapaleofú Grande y dos en el Chapaleofú propiamente dicho. Ruiz de Galarreta et al, 2013 determinaron la calidad del curso superficial que conforma el arroyo Langueyú, de características urbanas. Boguetti L., 2015 realizó un diagnóstico ambiental de la cuenca alta del arroyo Langueyú. Rodriguez et al, 2016 realizaron un estudio en la cuenca rural del arroyo Napaleofú, en el cual caracterizaron la hidrología básica de la cuenca alta, tanto en agua superficial como subterránea. Banda Noriega et al, 2018 analizaron para el partido de Tandil la concentración de agroquímicos en los arroyos del mismo, con un sitio de muestreo en el arroyo Chapaleofú. No existen por ende trabajos antecedentes que evalúen el recurso hídrico del arroyo Chapaleofú en su extensión completa. En este contexto el objetivo del presente trabajo fue la caracterización fisicoquímica del recurso hídrico superficial en la totalidad de la cuenca.

MÉTODO O DESARROLLO EXPERIMENTAL

Área de estudio

El área de estudio se ubica en el partido de Tandil, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Este partido cuenta con una superficie de 4.836 km², dentro de la cual se identifican ocho cuencas hidrográficas (ver Fig. 1 y Tabla I) cuyos arroyos tienen sus nacientes en los ambientes serranos del sistema de Tandilia (Ruiz de Galarreta et al, 2005). Estas cuencas presentan una extensión regional, es decir que sus límites están por fuera de los límites del partido, y se encuentran dentro de la región hidrogeológica serrana que se corresponde con los dos sistemas serranos de la provincia, Tandilia y Ventania (Gonzalez N., 2005). La cuenca que se estudió en este trabajo fue la del arroyo Chapaleofú que nace en las Sierras de Tandil y cuyas aguas fluyen con dirección NE hacia la depresión del Río Salado. La misma se desarrolla predominantemente en el espacio rural y cuenta con los asentamientos de Azucena, María Ignacia (Estación Vela), Gardey y La Pastora que poseen las características típicas de concentraciones de población rural, como el desarrollo económico vinculado a actividades agropecuarias. En dichos asentamientos se hace uso del recurso subterráneo para consumo humano y para la mayoría de las actividades antrópicas, por lo que el recurso superficial es utilizado puntualmente con fines recreativos y para bebida del ganado. Esta cuenca presenta dos subcuencas: la del arroyo Chapaleofú Chico y la del arroyo Chapaleofú Grande. La cuenca del arroyo Chapaleofú es la de mayor extensión del partido.

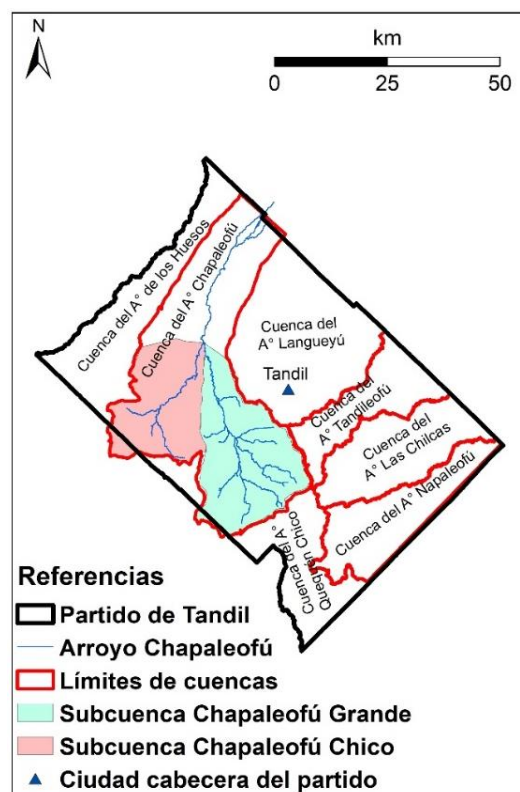


Figura 1. Cuencas hidrográficas del partido de Tandil.

Tabla I. Superficie de cuencas del partido de Tandil.

Cuenca	Superficie (km)
A° de Los Huesos	628
A° Chapaleofú	1.484
A° Langueyú	687
A° El Perdido	193
A° Tandileofú	314
A° Las Chilcas	461
A° Napaleofú	723
A° Quequén Chico	346

Los sectores geomorfológicos definidos para el partido de Tandil (serranías, piedemonte y llanura) encuentran su correspondencia en el área de estudio. El sector de serranías se caracteriza por la presencia de sierras, cerros aislados y valles, relacionados con la presencia de bloques elevados por fallas directas. En este sector se encuentran las más altas pendientes y los valles de los cursos de aguas se hallan bien definidos, y dentro de él se ubican las subcuencas de los arroyos Chapaleofú Chico y Chapaleofú Grande. El piedemonte se ubica en forma continua a las serranías, se caracteriza por tener un ángulo de pendiente más suave que el sector anterior; se observa la presencia de bloques de gran tamaño y conos aluviales, y el drenaje presenta un diseño distributivo. La última unidad morfológica es la llanura, reconocida hacia el NE por la presencia de pendientes muy suaves. Es una zona de acumulación y transporte de materiales más finos, con fuerte predominio de sedimentos de origen eólico. El drenaje es poco definido y pobremente integrado, con cauces estrechos y cursos temporarios que en ciertos casos desaparecen en suaves depresiones (Ruiz de Galarreta et al, 2005). Siguiendo los criterios utilizados en la delimitación de los sectores geomorfológicos de la cuenca del arroyo Langueyú (Ruiz de Galarreta et al, 2011) se ubicó en el presente trabajo al sector de serranías por encima de los 170 msnm, al sector de piedemonte entre los 170 y 140 msnm y al de llanura por debajo de los 140 msnm.

A pesar de contar con varios cursos superficiales, la mayoría de éstos son temporarios y prácticamente no hay en el partido de Tandil cuerpos de agua lenticos.

Metodología

La metodología consistió en definir los sitios de muestreo en el arroyo Chapaleofú y sus tributarios: el arroyo Chapaleofú Chico y el arroyo Chapaleofú Grande. Estos sitios debían tener representación en los distintos sectores geomorfológicos. Para obtener información preliminar sobre los sitios a analizar, se efectuó un muestreo exploratorio programado a partir de la inspección previa de cartografía satelital, el cual permitió evaluar la accesibilidad al arroyo Chapaleofú y sus tributarios.

Para la ubicación precisa de cada uno de estos sitios, se utilizó un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) en el que se archivaron las coordenadas geográficas. El muestreo en el que se basa este estudio fue realizado en el mes de octubre de 2019.

Las determinaciones físico-químicas efectuadas para la caracterización básica del sistema hidroquímico contemplaron: conductividad eléctrica (CE), temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, calcio, magnesio, potasio y sodio.

En cada punto de muestreo se determinaron *in situ* los valores de temperatura, pH, CE y OD, considerando la susceptibilidad que presentan respecto a los cambios ambientales (Appelo C.A.J. and Postma D., 1993), utilizando el medidor multiparamétrico Aquacombo HM3070. Los carbonatos y bicarbonatos también se determinaron en campo, inmediatamente después de la toma de muestra, utilizando el método de titulación (APHA, 2005). Para el resto de las determinaciones se extrajeron muestras de agua que fueron debidamente refrigeradas y luego analizadas en el Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Minerales (LabyM) de la Facultad de Ciencias Veterinarias (UNICEN). Las muestras se envasaron en recipientes de 1 litro de PET (Poliuretano Tereftalato) que, a diferencia de otros plásticos como el polietileno, no permite la difusión de gases (Castany G., 1975). Las muestras de agua se tomaron en puntos con buena circulación y mezclado, evitando las aguas estancadas y tratando de no recoger partículas tales como hojas y sedimentos. Las extracciones se realizaron de frente a la corriente, sumergiendo los envases a una profundidad aproximada de 20 cm, con la boca ligeramente inclinada hacia arriba. Una vez llenos, se cerraron bajo el agua.

En los 12 puntos de muestreo se realizó el aforo de caudal mediante la técnica del flotador. En cada sitio se relevaron mediante observación directa los usos de suelo a ambos lados del arroyo y aguas arriba de éste.

Se obtuvieron a partir de los datos físicoquímicos medidas de resumen que incluyeron: mínimo, primer cuartil, mediana, promedio, tercer cuartil y máximo. Se realizó una matriz de correlaciones utilizando el software Rstudio entre los distintos parámetros físicoquímicos analizados y el caudal, para evaluar las relaciones existentes entre ellos. Se elaboró el diagrama de Piper para conocer la tipificación de las aguas del arroyo.

Se realizó mediante el software Infostat el análisis de la varianza del ion nitrato con respecto a los diferentes usos de suelo. Se utilizó el ion nitrato ya que es un indicador de contaminación orgánica, ya sea por el uso de fertilizantes o por excremento de animales. Si bien no hubo casos en que la concentración de nitratos superara el valor de referencia establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) de 50 mg/l, se relacionó el uso de suelo preponderante en cada sitio con la concentración de nitratos para analizar si los diferentes tipos de uso de suelo influyen en sus variaciones de concentración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La red monitorea quedó constituida por doce sitios de muestreo, 6 se ubican en la subcuenca del arroyo Chapaleofú Grande, 3 en la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico y las 3 restantes en el Chapaleofú propiamente dicho (ver Fig. 2), que se forma luego de la unión de los arroyos antes mencionados. En cuanto a los sectores geomorfológicos, 7 sitios de muestreo se ubican en las serranías, 3 en el piedemonte y 2 en la llanura.

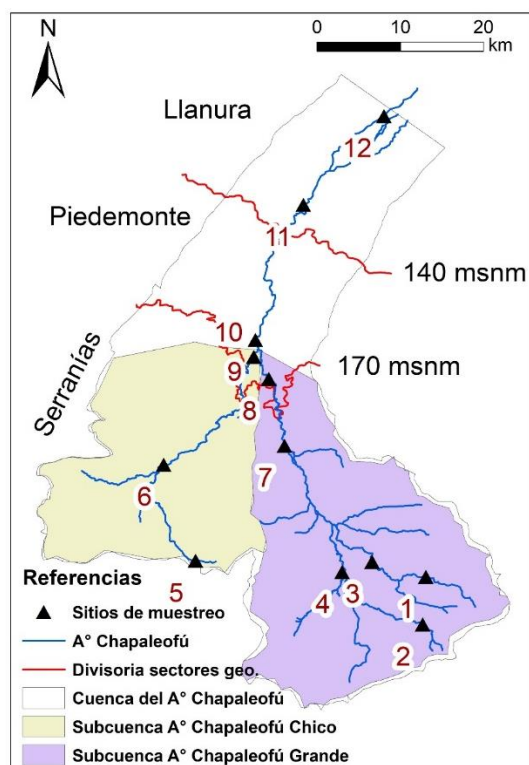


Figura 2. Red monitorea de agua superficial.

Tabla II. Estadísticos descriptivos para el conjunto de datos fisicoquímicos (campaña de octubre de 2019).

	n	Mínimo	Primer cuartil	Mediana	Promedio	Tercer cuartil	Máximo
Carbonatos	12	0,00	0,00	77,50	75,83	152,50	180,00
Bicarbonatos	12	384,30	469,70	530,70	541,40	658,80	683,20
CE	12	597,00	628,50	694,50	680,10	706,50	788,00
pH	12	7,73	8,01	8,19	8,14	8,28	8,45
T	12	18,10	18,88	19,60	19,75	20,93	21,40
OD	12	65,00	75,17	78,45	83,71	83,55	142,00
Calcio	12	39,84	51,03	54,17	72,15	84,16	197,21
Magnesio	12	6,29	21,87	23,52	22,91	26,34	29,39
Sodio	12	2,44	38,46	55,75	53,78	74,87	109,00
Potasio	12	3,70	5,46	9,19	11,16	14,19	25,96
Dureza	12	315,00	385,00	435,00	443,80	540,00	560,00
Cloruros	12	27,99	31,49	35,99	37,16	39,99	55,98
Nitratos	12	15,27	18,40	21,41	21,77	24,35	29,55
Sulfatos	12	6,44	9,45	11,92	11,16	13,28	13,98

Los valores de CE se encontraron entre 597 y 735 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, aumentando desde el sector de serranías hacia el sector de llanura, y su promedio fue de 680 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$. El pH osciló entre 7,7 y 8,5 siendo básico en todos los casos y con un promedio de 8,1. El aumento también ocurrió en el sentido del flujo. La temperatura varió de 18 a 21°C. Los bicarbonatos variaron de 384 a 683 mg/l aumentando en el sentido del flujo y con un promedio de 541 mg/l. En cuanto a los carbonatos no se encontraron en 5 de los 7 sitios de las serranías y en los 2 que se encontraron presentaron valores bajos (75 y 95 mg/l).

La concentración de bicarbonatos aumentó en el sentido del flujo en los sectores geomorfológicos de piedemonte y llanura con valores entre 80 y 180 mg/l, con un promedio de 148 mg/l en ambos sectores.

El OD presentó un promedio de 84% con valores que se encontraron entre 65 y 142%.

El calcio disminuyó en el sentido del flujo, con valores entre 40 y 197 mg/l. Su promedio fue de 72 mg/l. El magnesio presentó valores entre 29 y 21 mg/l con una leve tendencia a disminuir su concentración hacia la llanura, su concentración promedio fue de 23 mg/l.

El sodio presentó valores entre 2 y 109 mg/l con un promedio de 54 mg/l. Los valores más bajos se encontraron en el sector de serranías mientras que los más altos se encontraron en la llanura.

El potasio presentó sus mayores valores en la cabecera y los valores más bajos en la llanura, se mantuvo en el rango de 4 a 26 mg/l, con un promedio de 11 mg/l. La dureza aumentó en el sentido de flujo del agua, presentó valores entre 315 y 560 mg/l, con un promedio de 444 mg/l.

Los cloruros presentaron un promedio de 37 mg/l con un máximo de 56 mg/l y un mínimo de 28 mg/l. No se logró identificar un patrón de distribución de cloruros a lo largo del arroyo.

La concentración de nitratos osciló entre 15 y 30 mg/l con un promedio de 22 mg/l. No se encontró un patrón en su distribución y sus valores más altos se hallaron en los sitios de muestreo 4 y 5, ubicados en el sector de serranías.

Los sulfatos presentaron un valor promedio de 11 mg/l con valores entre 6 y 14 mg/l.

Tabla III. Matriz de correlaciones de parámetros fisicoquímicos y caudal.

	Bicarbonatos	Calcio	Carbonatos	Caudal	CE	Cloruros	Dureza	Potasio
Bicarbonatos	1,00	-0,31	0,47	0,62	0,47	-0,21	1,00	-0,45
Calcio	-0,31	1,00	-0,49	-0,56	-0,56	0,25	-0,31	0,34
Carbonatos	0,47	-0,49	1,00	0,66	0,22	-0,32	0,47	-0,67
Caudal	0,62	-0,56	0,66	1,00	0,45	-0,31	0,62	-0,45
CE	0,47	-0,56	0,22	0,45	1,00	-0,05	0,47	-0,43
Cloruros	-0,21	0,25	-0,32	-0,31	-0,05	1,00	-0,21	-0,33
Dureza	1,00	-0,31	0,47	0,62	0,47	-0,21	1,00	-0,45
Potasio	-0,45	0,34	-0,67	-0,45	-0,43	-0,33	-0,45	1,00
Magnesio	0,15	-0,22	0,41	0,15	0,45	0,44	0,15	-0,74
Sodio	0,31	-0,41	0,15	0,32	0,40	-0,54	0,31	0,04
Nitratos	-0,44	-0,25	-0,41	-0,54	0,06	0,08	-0,44	0,24
OD	-0,47	0,24	-0,07	-0,40	-0,37	0,75	-0,47	-0,31
pH	0,35	-0,42	0,79	0,76	0,44	-0,05	0,35	-0,77
Sulfatos	0,47	-0,54	0,32	0,63	0,92	-0,11	0,47	-0,47
Temperatura	0,23	0,38	0,05	-0,29	-0,20	-0,07	0,23	0,00

	Magnesio	Sodio	Nitratos	OD	pH	Sulfatos	Temperatura
Bicarbonatos	0,15	0,31	-0,44	-0,47	0,35	0,47	0,23
Calcio	-0,22	-0,41	-0,25	0,24	-0,42	-0,54	0,38
Carbonatos	0,41	0,15	-0,41	-0,07	0,79	0,32	0,05
Caudal	0,15	0,32	-0,54	-0,40	0,76	0,63	-0,29
CE	0,45	0,40	0,06	-0,37	0,44	0,92	-0,20
Cloruros	0,44	-0,54	0,08	0,75	-0,05	-0,11	-0,07
Dureza	0,15	0,31	-0,44	-0,47	0,35	0,47	0,23
Potasio	-0,74	0,04	0,24	-0,31	-0,77	-0,47	0,00
Magnesio	1,00	-0,47	-0,20	0,34	0,64	0,51	-0,14
Sodio	-0,47	1,00	0,35	-0,45	-0,03	0,22	0,24
Nitratos	-0,20	0,35	1,00	0,19	-0,50	-0,21	0,12
OD	0,34	-0,45	0,19	1,00	-0,03	-0,42	0,11
pH	0,64	-0,03	-0,50	-0,03	1,00	0,64	-0,28
Sulfatos	0,51	0,22	-0,21	-0,42	0,64	1,00	-0,43
Temperatura	-0,14	0,24	0,12	0,11	-0,28	-0,43	1,00

Se consideraron correlaciones significativas aquellas que fueron mayores a 0,5. El calcio y el sodio presentaron una correlación negativa que explicaría el intercambio catiónico entre los dos iones pero no llega a ser significativa. Vemos que el caudal tiene una correlación significativa negativa con el calcio, debido a que a medida que aumenta el caudal y el recorrido del agua superficial por la cuenca el calcio es reemplazado por el sodio. Por la misma razón el sodio presenta una correlación positiva con el caudal aunque no llega a ser significativa. Los carbonatos presentan una correlación significativa positiva con el pH, lo cual es lógico, debido a que los carbonatos son inestables a pH menores a 8,3.

Los sulfatos presentan una correlación positiva con la CE ya que ambas aumentan en el sentido del flujo.

En cuanto a la tipificación de las aguas todas las muestras (ver Fig. 3), excepto la correspondiente al sitio 5, son bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas con tendencia a bicarbonatadas sódicas en la llanura (sitios 11 y 12).

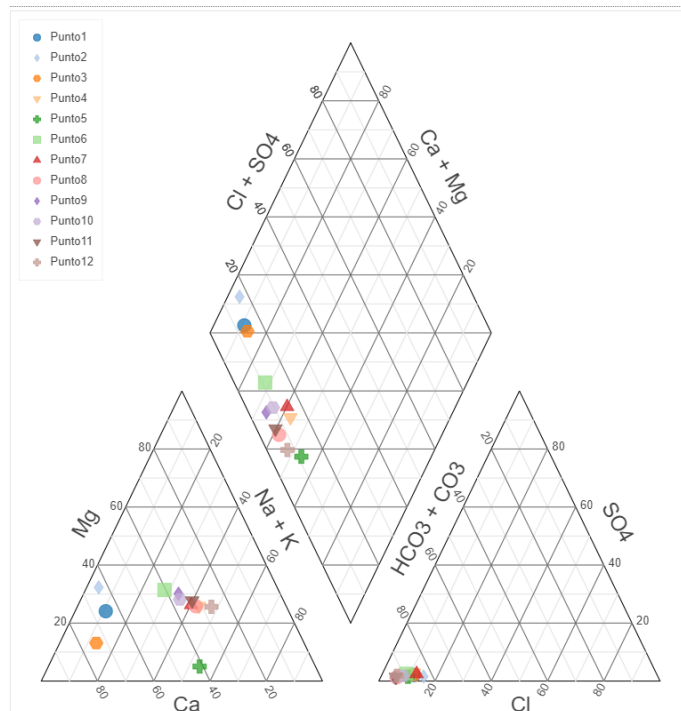


Figura 3. Diagrama de Piper para el arroyo Chapaleofú.

A continuación se representan los caudales (m^3/seg) medidos el día 31 de octubre de 2019 en cada uno de los sitios de muestreo (ver Fig. 4)

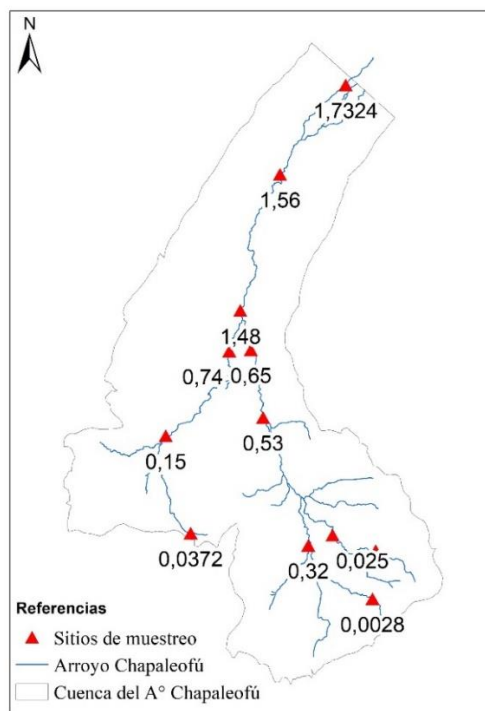


Figura 4. Caudal (m^3/seg) en los diferentes sitios de muestreo

En el sector de serranías cuatro sitios presentaron un uso de suelo preponderantemente ganadero y tres un uso agrícola; en el sector de piedemonte, los tres sitios presentaron un uso agrícola; y en el sector de llanura los dos sitios muestreados presentaron un uso ganadero. Se realizó el análisis de la varianza (ANAVA) del ion nitrato para conocer si

hay diferencias significativas en el comportamiento del mismo dentro de cada tipo de uso de suelo. La hipótesis nula es que las medias de nitratos dentro de cada tipo de uso de suelo son iguales, es decir que las diferencias que se observan son producto del azar. Si el p-valor se encuentra por encima de 0,05 no hay evidencia estadística para descartar la hipótesis nula. En el caso analizado el p-valor fue de 0,5871, por lo que no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la concentración de nitratos y los diferentes usos de suelo relevados.

Tabla IV. Análisis de varianza (ANAVA) del ion nitrato en relación a los diferentes usos de suelo.

	p-valor
Uso de suelo preponderante	0,5871

No se encontraron concentraciones de nitratos superiores al valor de referencia establecido por la OMS (50 mg/l), por lo que no se detectaron rasgos indicativos de contaminación. De todas formas, Cortelezzi A., 2012 obtuvo un promedio de 2,2 mg/l para la concentración de nitratos en 2012 en el arroyo Chapaleofú Chico y el Chapaleofú propiamente dicho. Se infiere que el aumento en la concentración de nitratos detectado en este trabajo podría deberse a una mayor aplicación de fertilizantes en la actualidad. Los valores mínimos y máximos de nitratos fueron 15,3 y 29,6 mg/l respectivamente, siendo similares a los detectados en la cuenca del arroyo Napaleofú: 23,8 y 39,4 mg/L. El contenido de nitratos no presentó una evolución en relación al sentido del flujo y los sitios que mayor concentración de nitratos presentaron fueron el 5 y el 6, ambos correspondientes a la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico, lo cual puede deberse a que en esa zona exista una mayor concentración de cultivos con aplicación de agroquímicos ricos en nitrógeno. En la cuenca urbana del arroyo Langueyú, según el estudio de Ruiz de Galarreta et al, 2013 el promedio de nitratos fue de 58,2 mg/l para la campaña de mayo de 2011, mucho más alto que promedio para el arroyo Chapaleofú que fue de 21,8 para octubre de 2019. Esta diferencia podría deberse a que la cuenca del arroyo Langueyú se asienta sobre la ciudad de Tandil y por lo tanto es afectada por otras actividades humanas con vuelco de efluentes al arroyo como industrias alimenticias.

A su vez, Banda Noriega et al, 2018 detectaron bajas concentraciones de todos los agroquímicos determinados (Atrazina; 2,4-D; Acetoclor; Imazapir; Glifosato; AMPA) en los cursos superficiales del partido de Tandil, a excepción de acetoclor que no se detectó en uno de los cursos. Se constató que los niveles fueron inferiores a los valores de referencia para agua de bebida humana para los casos que existen estas referencias (atrazina, 2,4 D y glifosato).

La CE varió desde 597 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ en la serranías a 788 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ en la llanura, con valores similares a los establecidos para el arroyo Napaleofú (Rodríguez et al, 2016) donde esta varió entre 460 y 880 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ aumentando desde las nacientes hasta la desembocadura. El tipo de agua en ambos trabajos fue bicarbonatada, con mayor tendencia a cálcica y/o magnésica en la serranía y a sódica en la llanura. El promedio de CE, 680 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, también fue similar al detectado por Cortelezzi A., 2012 que fue de 754 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$.

El pH osciló entre 7,7 y 8,5, en un mayor rango al determinado por Rodríguez et al, 2016 que se encontró entre 7,1 y 7,9.

El OD tuvo un promedio en su porcentaje de saturación de 84%, similar al determinado por Mazzucchelli M.G., 2016 para la cuenca del arroyo Napaleofú que fue de 87% y al determinado anteriormente para el arroyo Chapaleofú Grande y el Chapaleofú propiamente dicho por Cortelezzi A., 2012 que fue de 93%.

En cuanto a la medición de caudal se obtuvo en la zona de llanura un caudal máximo de 1,73 m^3/seg , el cual es bastante superior al obtenido por Boguetti L., 2015 en el sector de

llanura para la cuenca del arroyo Langueyú que fue de 1,05 m³/seg para la misma estación del año en 2012. Esto se explica, más allá de eventos climáticos puntuales, por la mayor superficie de la cuenca del arroyo Chapaleofú.

CONCLUSIONES

Los aspectos esenciales del diseño de la red monitorea de recursos hídricos subterráneos incluyeron, al igual que en trabajos antecedentes, el uso de herramientas de georreferenciación, el uso de sistemas de información geográfica para superposición de variables, y la evaluación estadística de criterios utilizados, con el fin de cumplir los objetivos de la red.

Este trabajo permitió conocer las características básicas del recurso hídrico superficial en la cuenca del arroyo Chapaleofú. Los resultados constituyen información útil para otras investigaciones vinculadas a los usos del suelo, a los servicios ambientales relacionados al agua y a la contaminación del sistema debido a actividades antrópicas. Además, la información generada es básica y fundamental para la toma de decisiones en pos de la protección del recurso y su gestión integrada.

El estudio realizado puede considerarse preliminar, ya que es necesario realizar nuevas campañas de muestreo en la red monitorea que permitan identificar una evolución temporal de los parámetros fisicoquímicos en distintas estaciones climáticas y al menos en el transcurso de un año. Además se considera necesario ampliar la investigación e incorporar otros parámetros de calidad del agua superficial, como el contenido de nutrientes.

No se encontró relación estadísticamente significativa entre las variaciones puntuales de la concentración de nitratos y los diferentes usos de suelos.

El arroyo Chapaleofú, al igual que otros arroyos rurales del partido, no mostró perturbaciones que presenten un cambio en la calidad del agua en los sitios de muestreo. De todas formas, se constató un importante aumento en la concentración de nitratos con respecto a un trabajo realizado en el mismo arroyo en el año 2012, esto puede deberse a la aplicación de una mayor cantidad de fertilizantes en la actualidad.

Es imprescindible que el productor agropecuario y los actores involucrados en la actividad rural tomen conocimiento y conciencia sobre el uso y manejo integral del recurso hídrico dentro de la actividad productiva; esto involucra no sólo la forma como se efectúa la apropiación del agua, sino también las medidas de protección al recurso hídrico evitando la disposición inadecuada de cargas contaminantes.

REFERENCIAS

- APHA. Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W., Greenberg, A. E. and Franson, M. A. H. (EDS). Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater (21st Edition). *APHA*: Washington, D.C. (2005).
- Appelo, C. A. J. and Postma, D. Geochemistry, groundwater and pollution. Ed. A. A. Balkema, 649 pp. (1993).
- Banda Noriega, R.B., Ruiz de Galarreta, A.V., Barranquero, R. S., Saraceno, D., Irastorza, M.T., Cifuentes, M., Cisneros Basualdo, N.E., Díaz, A., Donalisio, R., Galecio, M.F., Landa, R., Quiroga, M., Rodríguez, C.I, Sosa, B., Tabera, A. Evaluación de agroquímicos en arroyos y agua subterránea del partido de Tandil considerando características hidrogeológicas y uso del suelo (2018).
- Bogetti, L. Diagnóstico ambiental de la cuenca superior del arroyo Langueyú. *Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental*. Facultad de Ciencias Humanas, Tandil, Argentina (2015).

- Castany, G. Prospección y explotación de las aguas subterráneas. *Ed. Omega*. Barcelona. ISBN 84-282-0376-8 (1975).
- Cortelezzi, A. Determinación del estado ecológico de los sistemas loticos del partido de Tandil: Resultados preliminares de la calidad del agua. *Manuscrito no publicado* (2012).
- Custodio, E., Garrido, A., Coletto, C., and Salmoral, G. The challenges of agricultural diffuse pollution. In L. De Stefano & R. Llamas (Eds.), *Water, Agriculture and the Environment in Spain: can we square the circle?* (pp. 153–164). Madrid, España (2012).
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. El estado mundial de la agricultura y alimentación. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*. ISSN 0251-1371. Roma, Italia (2018).
- Ferrier, R.C., D'Arcy, B.J., MacDonald, J., y Aitken, M. Diffuse pollution - what is the nature of the problem? *Water and Environment Journal*, 19(4), 361–366. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2005.tb00574.x>. (2005).
- González N. Los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires. Cap. XXII, pp. 359-374; En: *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata (2005).
- Goudie, A. The human impact on the natural environment: past, present, and future. Seventh edition. *A John Wiley & Sons, Ltd., Publication*. p. 424 (2013).
- Krueger, T., Maynard, C., Carr, G., Bruns, A., Mueller, E. N. and Lane, S. A transdisciplinary account of water research. *WIREs Water* 2016, 3, 369-389. doi: 10.1002/wat2.1132. (2016).
- Mazzucchelli, M. G. Diagnóstico físico químico y microbiológico del agua superficial del área serrana del arroyo Napaleofú. Tandil, Provincia de Buenos Aires. *Tesis de Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. (2016).
- Organización mundial de la salud. Guías para la calidad del agua potable. *Primer apéndice a la tercera edición*. Volumen 1. Recomendaciones (2006).
- Rodriguez, C.I., Gaspari, F., Ruiz de Galarreta, A.V., Kruse, E., Quiroga, M.A and Landa, R. Caracterización hidrológica de la cuenca alta del arroyo Napaleofú. *Libro de resúmenes I Jornadas Internacionales y III Nacionales de Ambiente*, Tandil, Argentina. (2016).
- Ruiz de Galarreta, V. A., y Banda Noriega, R. Geohidrología y evaluación de nitratos del partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. En: *IV Congreso Argentino de Hidrogeología. II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea*. UNCR. Córdoba, octubre de 2005; pp.: 99-108 (2005).
- Ruiz de Galarreta, V. A., Barranquero, R., Varni, M., y Rodriguez, C.I. Geología e hidrolitología de la cuenca del Arroyo Langueyú, Provincia de Buenos Aires (Argentina). UNICEN. CINEA. IHLLA. (2011).
- Ruiz de Galarreta, V. A., Banda Noriega, R. B., Najle, R., Rodríguez, C. I., Barranquero, R. S., Díaz, A. A., Miguel, R. E., Pereyra, M., and Priano, M. E. Análisis de la calidad del agua del arroyo Langueyú, Tandil, Buenos Aires. Volumen 1 N° 1, año 2013. ISSN: 2347-0941. *Revista estudios ambientales*. Publicación digital del CINEA (2013).
- Shiferaw, B., Bank, W., Freeman, A., Bank, W., y Swinton, S. Natural resource management in agriculture: methods for assessing economic and environmental impacts. Retrieved from https://books.google.com.co/books/about/Natural_Resources_Management_in_Agricult.htm?id=CqVoz7LUHfIC&redir_esc=y (2005).
- Viglizzo, E.F. Desafíos y oportunidades de la expansión agrícola en Argentina. En: *Producción Agropecuaria y Medio Ambiente. Propuestas Compartidas para su Sustentabilidad* (Martínez Ortiz, U., editor), Fundación Vida Silvestre Argentina, INTA, World Wildlife Foundation, Buenos Aires (Argentina), 12-42 (2007).
- Viglizzo, E.F. Agro y ambiente: una agenda compartida para el desarrollo sustentable. Resumen ejecutivo. Solbrig, O.T (coord.). *Foro de la cadena agroindustrial Argentina*. Buenos Aires (Argentina) (2008).
- Xu, L., Gober, P., Wheeler, HS and Kajikawa, Y. Reframing socio-hydrological research to include a social science perspective. *Journal of hydrology*, 563, 76-83. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.05.061> (2018).