

SECTORIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL ARROYO DEL AZUL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIADAS

L. RODRÍGUEZ, F. PELUSO & J. GONZALEZ CASTELAIN

Instituto de Hidrología de Llanuras de Azul.
República de Italia 780, 7300 - Azul.
loreana@faa.unicen.edu.ar

ABSTRACT. In the basin of the Azul Creek (centre of Buenos Aires Province) different uses are made (agricultural, recreational, the reception of urban effluents). Although there is a physicochemical characterization of its surface, it is necessary to do further studies in order to know the variables that determine the water quality of the resource to be managed more efficiently. This following aims at sectoring the basin according to its water quality and to identify significant parameters to describe the variations. Therefore, multivariate techniques were applied: Cluster (CA) and principal components (PCA) on standardized data. These techniques come from twelve seasonal campaigns where 27 variables were measured at 14 stations located in different sectors of the basin ($n = 168$). The results from CA show the formation of two groups: one consisting of samples of the upper and middle basin, and the other of some samples of the middle and lower basin. Due to the PCA, 3 factors were obtained that explain 53 % of the total variance, reducing the list of parameters to 13, weighing more than 0.70. To conclude, the results obtained by both techniques are consistent since areas with different water quality were identified and those affected by urban effluents were discriminated allowing the identification of parameters which explain this variability. The physicochemical sectoring of surface water which was obtained is not strictly coincident with that determined by the geomorphology and groundwater hydrochemistry.

Key words: Azul stream, water quality, cluster, principal components.

Palabras clave: arroyo del Azul, calidad de agua, cluster, componentes principales.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la calidad del agua implica la medición de múltiples parámetros tomada en diversos tiempos y sitios de muestreo necesitando, para dicha evaluación, una matriz de datos compleja (Chapman, 1992). Además, cuando se realizan monitoreos de ríos o arroyos, se debe hacer frente al problema de determinar si la variación en la concentración de los parámetros medidos se debe atribuir a

la contaminación (artificial, espacial) o a las características naturales del cuerpo de agua (temporal, climático). También deben identificarse los parámetros más significativos para la describir tales variaciones espaciales y temporales, las fuentes de contaminación, etc.

Estudios realizados por el Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) permitieron caracterizar sectores con diferente calidad del agua del Arroyo del Azul (IHLLA, 2000), el tipo y la

presión de uso, y los riesgos ecológicos y ambientales derivados de ellos (Gonzalez Castelain *et al.*, 1995; Gonzalez Castelain y Grosman, 1997). Recientemente se aplicaron índices de calidad de agua (ICA) con datos obtenidos de un monitoreo realizado entre los años 2005 a 2007. Dicho trabajo permitió, a modo de aproximación inicial, enmarcar rangos, detectar tendencias y demarcar zonas con diferente calidad de agua en el arroyo. Sin embargo, estos índices, al estar desarrollados para otros ambientes, no proporcionan evidencias de las fuentes de contaminación, principalmente porque se calculan después de la normalización de valores de variables selectas y de la carga asignada a cada una de ellas para un uso determinado. Por ello, faltarían realizarse estudios con mayor profundidad que permitan conocer cuáles son las variables que determinan la calidad del agua del recurso para diferentes usos, ya que son factores clave para que los ICA reflejen más fielmente las condiciones locales (Rodríguez *et al.*, 2007). El objetivo del presente trabajo es sectorizar la cuenca según la calidad de agua de las aguas, e identificar parámetros significativos para describir tales variaciones.

Para ello se apelará a la aplicación de las técnicas de análisis multivariado (también llamadas quimiométricas) (Chapman, 1992), las cuales facilitan el análisis simultáneo de una gran cantidad de datos. Éstas técnicas abarcan una gran variedad de análisis entre los cuales las llamadas técnicas de reconocimiento de patrón son las más utilizadas en estudios de este tipo (Johnson y Wichern, 1992; Vega *et al.*, 1998; Helena *et al.*, 2000; Adams, 1998; Graca y Coimbra, 1998; Wunderlin *et al.*, 2001; Debels *et al.*, 2005; Feijóo y Lombardo, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y sitios de muestreo

El arroyo del Azul, centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina, nace en cercanías de la localidad de Chillar y desarrolla su curso hacia el norte recorriendo 160 km hasta desaguar en el Canal 11. La cuenca consiste en una gran llanura (cuenca inferior) y un área menor de serranías bajas en la zona sur (cuenca superior) donde se ubican las cabeceras del arroyo del Azul. En la transición entre ambas zonas se observa un sector de piedemonte distal con suaves lomadas y ondulaciones (cuenca media), recibiendo en la misma las aguas de los arroyos Videla y Santa Catalina (Figura 1). La pendiente media del terreno es del 5% en la subcuenca superior y del 0,2% para la inferior, mientras que varía entre 0,5 y 0,8% en la zona de piedemonte (cuenca media) (Marzoratti *et al.*, 2006). El límite entre cuenca alta y la zona de transición estaría aproximadamente en la curva de 200 msnm. Esta zona se extiende hasta la curva de 140 m (coincidiendo con el límite norte del casco urbano de la ciudad de Azul), a partir de la cual comienza el sector de cuenca baja, con cotas que llegan a ser inferiores a 40 msnm (IHLLA, 2000). El comportamiento global de la región es el de un ambiente de llanura (Sala *et al.*, 1987). Químicamente, las aguas subterráneas de cuenca alta se caracterizan como bicarbonatadas sódicas, magnésicas y cálcicas, las de la cuenca media como bicarbonatadas sódicas, y las de la cuenca baja como bicarbonatadas cloruradas sódicas (IHLLA, 2000; IHLLA, 2003).

En la cuenca se desarrolla actividad agrícola ganadera. La aplicación de fertilización intensa se produce desde el año 1995, principalmente para los cultivos de maíz y trigo. El sector agrícola se desarrolla en la zona topográficamente más elevada de la cuenca,

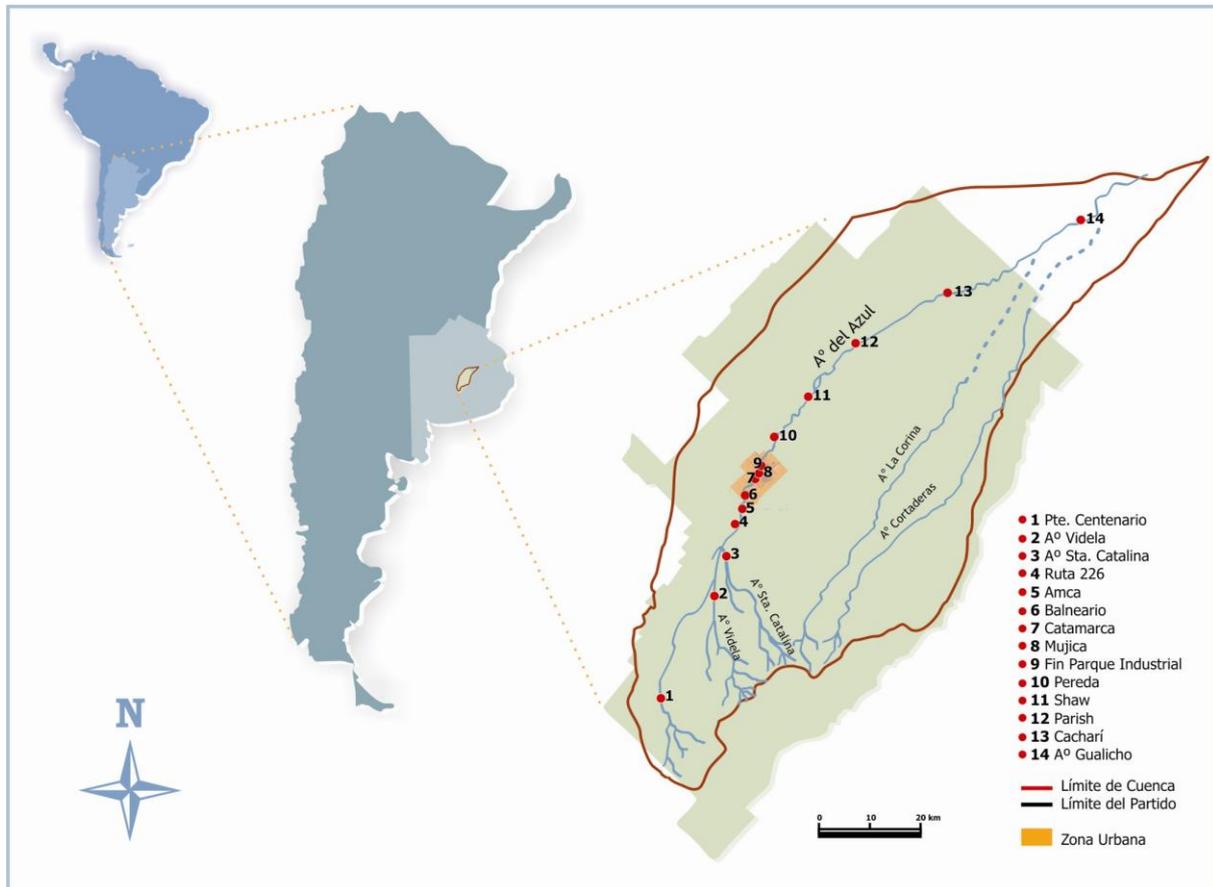


Figura 1. Ubicación de la cuenca del arroyo del Azul en la provincia de Buenos Aires, y localización de las estaciones de muestreo.

donde se cultivan maíz, trigo, soja y girasol. El sector ganadero se ubica en cuenca baja donde la calidad de los suelos limita la agricultura (Billelo, 2006).

Para analizar la variabilidad espacial de la calidad del agua del arroyo se localizaron 14 estaciones de muestreo (Figura 1). En la cuenca alta se escogieron 3 sitios: la estación 1 se encuentra ubicada sobre el arroyo del Azul (45 km aguas arriba de la ciudad), la estación 2 sobre el arroyo Videla (23 km aguas arriba de la ciudad) y la estación 3 se ubicó sobre el arroyo Santa Catalina (15 km aguas arriba de la ciudad) los cuales suelen transportar un caudal escaso ($0.55 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ y $0.20 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ respectivamente).

La estación 4 se encuentra ubicada 11 km aguas arriba de la zona urbana. En la ciudad de Azul se distribuyeron 7 puntos de muestreo teniendo en cuenta que en sus inmediaciones se realizan diversos usos de este recurso. Estos incluyen un predio de automovilismo (estación 5), la retención de las aguas en un espejo de 7 has que en período estival funciona como Balneario Municipal (estación 6), con usos deportivo, recreativo y paisajístico donde, además, también se realiza pesca.

La estación 7 se encuentra ubicada en la salida de un efluente pluvial. Las estaciones 8 y 9 se ubican pocos metros aguas debajo de la descarga del efluente de la planta de tratamiento de líquidos cloacales. La estación 10 se

ubicó 12 km aguas abajo del fin de la zona urbana.

En la cuenca baja el uso de la tierra está relacionado a la actividad ganadera por lo cual suele utilizarse el agua del arroyo para consumo por el ganado. En algunos sitios se practica la pesca. En esta zona se ubicaron 4 puntos de muestreo: la estación 11 se ubicó a 23 km aguas debajo de la ciudad de Azul en la localidad de Shaw, la estación 12 a 35 km en la localidad de Parish, la estación 13 a 65 km en la ciudad de Cacharí y la estación 14 a 120 km de la ciudad de Azul, aguas arriba de su desembocadura en el canal 11 unos pocos kilómetros al sudoeste de la ciudad de Las Flores.

La variabilidad temporal de la calidad del agua ha sido considerada, realizando campañas de muestreo estacionales, desde junio del 2005 hasta marzo del 2008.

Colección y análisis de las muestras

Tanto la colección, estabilización, transporte y almacenamiento de las muestras, así como los recipientes utilizados para tomarla, se realizaron considerando la GEMS/Water Operational Guide (WHO, 1987). Las muestras fueron tomadas a menos de 40 cm de la superficie del agua (subsuperficial) en sectores de aguas corrientes. Los muestreos se realizaron en ausencia de precipitaciones, o por lo menos 72 hs después de su finalización, cuando el arroyo retornó a sus condiciones de flujo normal.

Los métodos analíticos utilizados fueron tomados de APHA et al (1992). Los parámetros medidos incluyeron: Amonio (Visocolor ECO Ammonium 15 de Macherey-Nagel 931244), Nitrito (Visocolor ECO Nitrit Test de Macherey-Nagel 931010), Calcio (3500-Ca B), Magnesio (3500-Mg B), Sodio (3500-Na B), Potasio (3500-K B) con Espectrofotómetro de absorción atómica GBC 902 y lámparas de cátodo hueco, Fósforo Total (4500-P-E), Fósforo Reactivo Soluble (4500-P-E),

Fósforo Orgánico (4500-P-E), Cloruro (4500-Cl- D), Fluoruro (4500-F D) con Multivoltímetro con electrodos específicos, Nitrato (4500-NO₃- D), Sulfato (4500-SO₄-2 E), Carbonato (2320 B), Dureza (estimado), Temperatura (2550-B), Oxígeno disuelto (OD) (4500-O G) con Oxímetro de campo YSI mod 58, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en 5 días (5210-B), Demanda Química de Oxígeno (DQO) (5220-A), pH (4500-H+ B) con Peachímetro digital Altronix TPA IV, Sólidos Solubles (2540-C), Sólidos Suspendidos (2540-D), Sólidos Totales (2540-B), Sólidos Sedimentables (2540-F), Turbidez (2130-B), Conductividad eléctrica (Potenciométrico con Conductivímetro Digital Altronix CT2), Nitrógeno Kjeldahl (4500-Norg B), Detergentes SAAM (5540 C Espectrofotometría UV Visible), Hidrocarburos Totales de Petróleo (EPA 418.1 Espectrofotometría Infrarroja), Aerobios totales (9215-B), Coliformes fecales (9222-B), *Escherichia coli* (9222-D).

Tratamiento estadístico de los datos

La evaluación quimiométrica fue realizada sobre una matriz de datos obtenida de las doce campañas realizadas (n=168). Se aplicaron las siguientes técnicas de análisis multivariado: análisis componentes principales (PCA), análisis de conglomerados o Cluster (CA), (Guisande González *et al.*, 2006), considerando su utilización por diferentes autores para la evaluación de la calidad del agua (Johnson y Wichern, 1992; Vega *et al.*, 1998; Helena *et al.*, 2000; Adams, 1998; Graca y Coimbra, 1998; Wunderlin *et al.*, 2001; Debels *et al.*, 2005; Feijóo y Lombardo, 2007).

Se utilizaron los datos experimentales normalizados a cero (datos estandarizados por fecha de muestreo) para evitar las clasificaciones erróneas que se presentan debido a la gran variabilidad de los parámetros y sus diferentes órdenes de magnitud.

Los parámetros incluidos fueron 27 ya que el resto se consideró que aportaban información redundante. Los parámetros considerados fueron: pH, NH_4 , NO_2^- , Na^+ , Dureza, Alcalinidad, K^+ , Fósforo Total (PT), Fósforo Reactivo Soluble (PRS), Fósforo Orgánico (PO), Cl^- , F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , % saturación De Oxígeno (% Sat. Ox.), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Solubles (SS), Sólidos Suspendidos (SSu), Sólidos Totales (ST), Sólidos Sedimentables (SSe), Turbidez (Tb), Conductividad eléctrica (Ce), Nitrógeno Kjeldahl (N), Aerobios totales (AT), Coliformes fecales (CF), *Escherichia coli* (EC).

Para la aplicación del PCA se realizó una rotación varimax cruda (varimax raw) de los componentes principales (PC) que se obtuvieron de las variables estandarizadas originales, para reducir la contribución de variables con menor importancia con mínima pérdida de información, de esta manera se

simplificó la estructura de datos. La rotación varimax fue hecha considerando trabajos previos usando PCA (Vega *et al.*, 1998; Helena *et al.*, 2000; Debels *et al.*, 2005; Adams, 1998; Wunderlin *et al.*, 2001).

El CA se realizó utilizando el método de Ward's. Este método utiliza un análisis de acercamiento de la variación para evaluar las distancias entre los grupos formados, intentando reducir al mínimo la suma de cuadrados de cualquier par de grupos que puedan formarse en cada paso. Este método fue aplicado de acuerdo a la bibliografía (Adams, 1998; Graca y Coimbra, 1998; Johnson y Wichern, 1992). Para el análisis espacial los datos se estandarizaron por fecha de muestreo. La distancia del acoplamiento se mostró como un porcentaje relativo a la distancia máxima de acoplamiento (Dlink/Dmax).

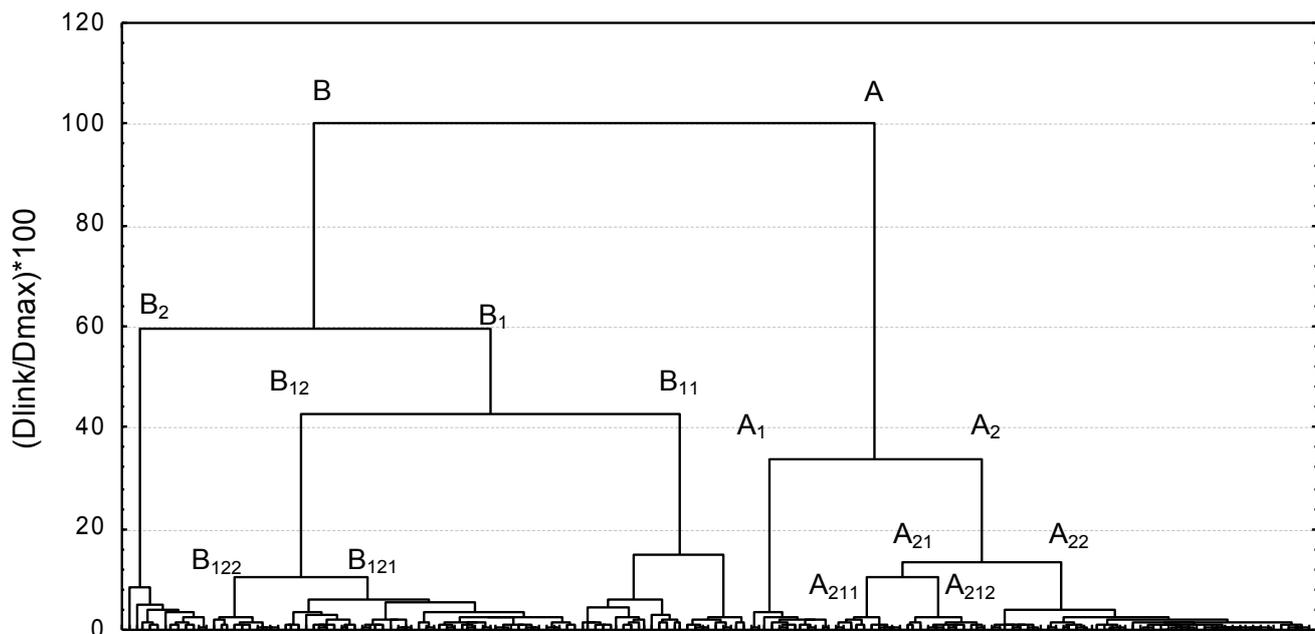


Figura 2: Dendrograma obtenido por el análisis CA, incluyendo 27 variables y 168 casos (en eje x).

RESULTADOS

El primer análisis que se realizó sobre los datos fue el CA. La primera observación permite identificar la formación de dos grandes grupos (A y B) (Figura 2).

El grupo A se encuentra conformado por la totalidad de las muestras de cuenca alta y un alto porcentaje de cuenca media (Tabla 1). Dentro de éste se identifican los grupos A1 y A2. El primero de ellos contiene únicamente las muestras del arroyo Santa Catalina. El grupo A2 se forma con los grupos A21 y A22: el primero contiene solamente las muestras correspondientes al arroyo Videla (grupo A212) y a la cuenca alta del arroyo del Azul (grupo A211); y el segundo (grupo

A22) incluye las muestras de la cuenca media, conteniendo todas las muestras de las estaciones 4, 5 y 6, un alto porcentaje de las muestras de la estación 7 y algunas de la estación 8 (Tabla 1).

El grupo B está integrado por muestras de la cuenca media y la totalidad de las de la cuenca baja. El grupo B1 incluye, por un lado, las muestras restantes de las estaciones de la cuenca media (grupo B11) y la casi totalidad de las muestras de cuenca baja (grupo B12). El grupo B2 presenta un alto porcentaje de las muestras de la estación de muestreo más cercana a la desembocadura del arroyo.

Tabla 1: Porcentajes de muestras de cada estación incluidos en los grupos formados en el dendrograma (Figura 2).

GRUPO	Subgrupo		% de muestras agrupadas	Estación	
A	A1		100	3	
	A2	A21	A211	83	1
			A212	100	2
		A22		100	4
				100	5
				100	6
				67	7
				8	8
				17	1
		B	B1	B11	B111
B112	25				7
B12	B121			42	8
				83	9
				8	4
				8	7
				17	9
				100	10
			100	11	
B2	B122			92	12
				25	13
				8	10
				8	12
				58	13
	17		14		
	83		14		
	17		13		

El grupo B11 reúne casi la totalidad de las muestras de las estaciones 8 y 9 y una cuarta parte de las muestras de la estación 7, todas correspondientes al sector de cuenca media. Sin embargo, estarían asociadas al grupo de muestras de cuenca baja por ser un sector afectado por las descargas de efluentes urbanos. Cabe mencionar que el mayor porcentaje de muestras de estación 7 se encuentran dentro del grupo A22. Esto puede deberse a que la misma se ve afectada por efluentes urbanos esporádicos.

Del análisis PCA para la misma matriz de datos estandarizados, se obtienen 3 factores, los cuales explican el 53 % de la varianza total, reduciendo la lista de parámetros a 13 con peso mayor a 0.70 (Tabla 2).

El factor 1 explica el 26.6% de la variación total, y muestra siete variables con peso mayor a 0.70, los cuales están relacionados en su gran mayoría con la salinidad de las aguas: los sólidos solubles y totales, alcalinidad, conductividad eléctrica, y las concentraciones de Na^+ , Cl^- y SO_4^{2-} (Tabla 2).

El factor 2 explica el 17.5% de la varianza total y muestra cuatro parámetros con peso mayor a 0.70, los cuales están relacionados con la contaminación cloacal: Coliformes, Aerobios, *Escherichia* y Amonio (Tabla 2).

El factor 3 explica el 9% de la varianza total y presenta dos parámetros con peso significativo: Sólidos suspendidos y turbidez (Tabla 2).

Atendiendo a los resultados obtenidos es posible observar que la mayor parte de la variación es explicada por los cambios en la concentración de "sales solubles" representadas en el factor 1, reconociendo la variabilidad espacial natural de la hidroquímica inorgánica a lo largo de la cuenca. En particular, permite segregar las muestras correspondientes al sector de cuenca baja del arroyo del Azul con aguas bicarbonatadas cloruradas sódicas donde las estaciones con mayor peso en el factor 1 son las correspondientes a este sector (estaciones

13 y 14), lo cual puede apreciarse como el grupo 2 en las figuras 3 y 4.

La segunda fuente de variación se debe a la carga bacteriana representadas en el factor 2, en correspondencia con el sector afectado por la descarga de efluentes urbanos, cloacal y pluviales, siendo identificadas las estaciones 8 y 9, y en menor porcentaje la estación 7, lo que se aprecia como el grupo 1 de la figura 3.

Es posible estimar la contribución de un tercer orden de los sólidos suspendidos y la turbidez. Dichos variables identifican al arroyo Santa Catalina, el cual presenta características diferenciadas del resto de la cuenca. En la figura 4 pueden observarse las muestras de provenientes de este arroyo identificadas como el grupo 3.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se observa una alta similitud en los agrupamientos que se forman en el análisis de CA, marcando una alta homogeneidad espacial dentro de los distintos sectores y/o estaciones identificadas.

Es importante señalar la consistencia entre los resultados obtenidos en los análisis de CA y CP, existiendo coincidencia entre los grandes grupos A y B con el factor 1, principalmente el B21; los grupos B11 del B12 con el factor 2, el grupo A1 y A2 con el factor 3.

En una primera instancia es posible identificar la cuenca alta y media como un sector con características similares, siendo el arroyo Santa Catalina diferenciado del resto de la cuenca por presentar un aumento de los sólidos suspendidos y turbidez.

Las estaciones ubicadas en el límite entre la cuenca media y la baja se corresponden con la zona afectada por las descargas de efluentes urbanos, por lo cual resultan identificadas como un sector con diferente calidad de agua, siendo la alta carga bacteriana y el amonio las variables que lo identifican.

Tabla 2. Resultados del análisis de componentes principales, en negrita resaltados los que presentan pesos >0.70.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Dureza	-0.02	-0.14	0.19
Na ⁺	0.89	0.01	-0.03
K ⁺	0.67	-0.11	0.00
Cl ⁻	0.85	-0.04	0.15
NO ₃ ⁻	0.10	0.01	-0.51
SO ₄ ⁻²	0.77	-0.06	0.28
Alcalinidad	0.80	0.03	-0.14
F ⁻	0.54	0.08	-0.64
%Sat. Ox.	-0.04	0.14	0.01
pH	0.13	0.01	-0.02
SS	0.73	0.14	0.02
Ssu	0.28	-0.19	0.82
ST	0.76	0.12	0.07
Sse	0.31	0.13	0.59
Turbidez	-0.05	-0.19	0.79
Cond.	0.89	0.03	-0.03
Aerobios	0.02	0.94	-0.10
Coliformes	0.03	0.95	-0.10
Esterichia	0.00	0.93	-0.11
DQO	0.08	-0.21	0.37
N	-0.04	0.53	0.05
NO ₂ ⁻	-0.02	0.33	-0.10
NH ₄ ⁺	0.03	0.74	0.04
PT	0.28	0.29	-0.09
PRS	0.24	0.18	-0.16
PO	0.26	0.34	0.17
DBO	0.31	0.30	0.08
Expl.Var	5.89	4.13	2.72
Prp.Totl	0.22	0.15	0.10
Eigenvalor	7.19	4.73	2.45
% Varianza Total	26.63	17.51	9.08
Eigenvalor acumulado	7.19	11.92	14.37
% Acumulado	26.63	44.14	53.22

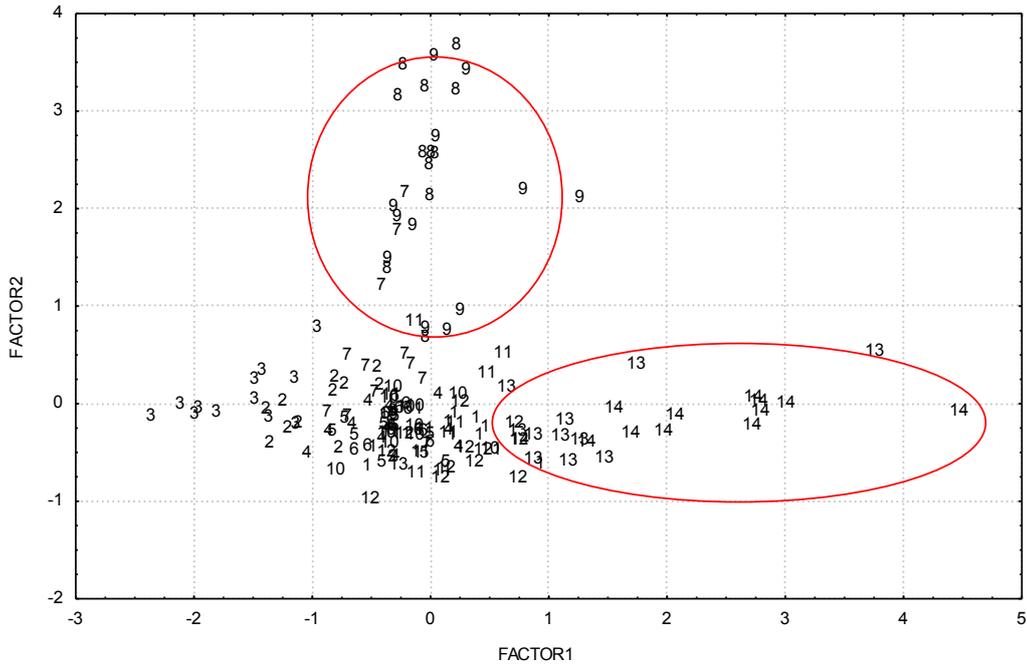


Figura 3. Scores factoriales obtenidos a partir del análisis de componentes principales con rotación varimax raw (factor 1 vs. Factor 2). Los círculos indican agrupamientos de muestras.

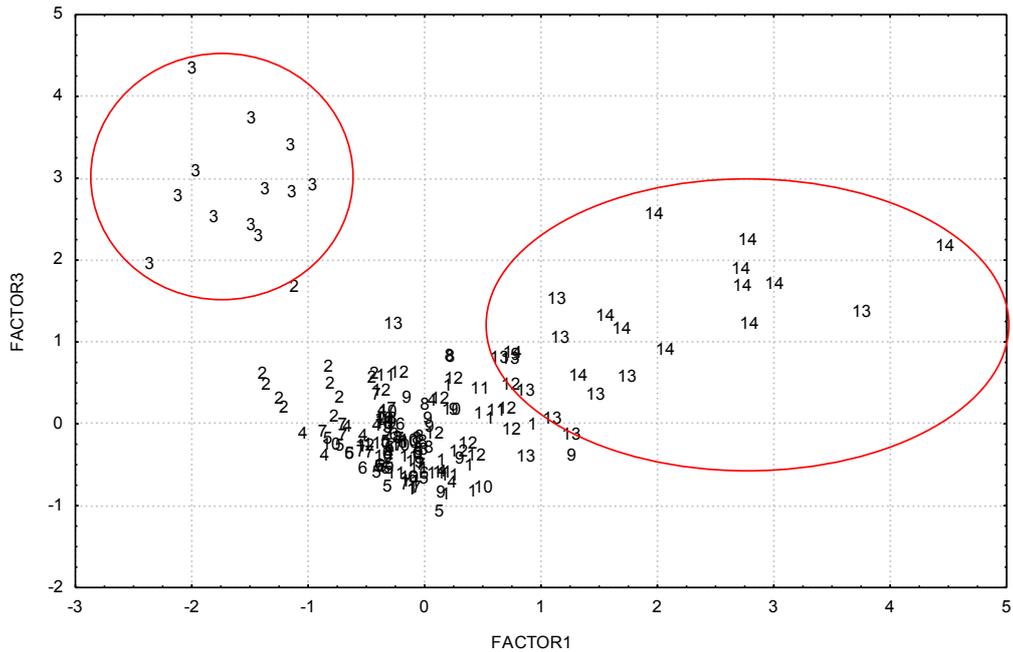


Figura 4. Scores factoriales obtenidos a partir del análisis de componentes principales con rotación varimax raw (factor 1 vs. Factor 3). Los círculos indican agrupamientos de muestras.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos mediante la aplicación de los índices de calidad de agua, los

cuales permitieron diferenciar tres zonas del arroyo con diferente calidad de agua: la cuenca alta donde es bue-

na, el sector urbano donde disminuye a media y la cuenca baja donde mejora aunque no recupera las condiciones anteriores a su paso por la ciudad.

Si bien la geomorfología y la hidroquímica subterránea delimitan los sectores de cuenca alta, media y baja, estos no son estrictamente coincidentes desde el punto de vista de la calidad del agua superficial. Se podría hablar de un sector preurbano con aguas de buena calidad microbiológica y salinidad moderada que se conservan desde las nacientes (cuenca alta y media) hasta ser alteradas por los efluentes urbanos. En el último tramo urbano se origina un sector afectado por estos efluentes (estaciones 7, 8 y 9).

A continuación se identifica un sector de transición que abarca desde el límite de la zona urbana de la ciudad de Azul hasta Parish (cuenca baja). Esta transición presenta una calidad del agua con cierta semejanza con la calidad de las aguas preurbanas, pero que tienden a la reducción de la carga contaminante recibida y a una mayor salinidad (estación 13 y 14).

Estas muestras corresponden al último tramo previo a la desembocadura del arroyo del Azul, identificado como el límite norte de la cuenca baja. Las variables que caracterizan este sector están relacionadas con un aumento de la alcalinidad y la conductividad eléctrica.

Si bien existe una afectación de la calidad del agua en el sector urbano, otros cambios de la fisico-química del agua a lo largo de la cuenca son atribuibles a variaciones naturales esperables en un arroyo de llanura (aumento de la turbidez y la salinidad hacia cuenca baja), en concordancia con las características de la hidroquímica subterránea y la mayor proporción de suelos hidromórficos (natra-cuoles).

Las técnicas estadísticas de análisis multivariado permitieron elaborar información significativa sobre los datos de calidad de agua y los resultados

obtenidos a partir de la aplicación de las mismas están altamente relacionados con los obtenidos mediante la aplicación de distintos índices de calidad de aguas. Estas técnicas fueron utilizadas favorablemente en otros cursos de agua de la región para caracterizar y evaluar variaciones temporales y espaciales causadas por factores naturales y antropogénicos (Wunderlin *et al.*, 2001; Mugni *et al.*, 2005; Feijoó y Lombardo, 2007).

BIBLIOGRAFÍA

- Adams M. J.** 1998. The principles of multivariate data analysis. In: Analytical Methods of Food Authentication, eds P. R. Ashurst and M. J. Dennis, 350 pp. Blackie Academic & Professional, London, UK.
- APHA-AWWA-WPCF.** 1992. Métodos normalizados para el Análisis de las Aguas Potables y Residuales. 17^o edición, Ediciones Díaz de Santos, S.A., Juan Bravo, 3-A. 28006 Madrid. España.
- Ares, M.G., Varni, M., Entraigas, I. y Marzoratti, M.** 2007. Uso del suelo y grado de cobertura vegetal en una cuenca del centro de la provincia de Buenos Aires. Cuadernos del Curriham 13: 63-69..
- Bilello G.I.** 2006. Innovación Productiva y Empleo Rural en La Pampa Argentina. Un Estudio de Caso en Áreas Mixtas. VII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología Rural realizado en Quito, Ecuador durante los días 20 a 24 de noviembre del 2006.
- Chapman D.** 1992. Water Quality Assessment, ed. D. Chapman, p. 585. Chapman & Hall, London (on behalf of UNESCO, WHO and UNEP).
- Debels, P., Figueroa R., Urrutia R., Barra R., y Niell X.** 2005. "Evaluation of quality in the Chillán river (central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index". Environmental Monitoring and Assessment. 110: 301-322.

- Feijoó, C. y Lombardo, R.J.** 2007. Baseline water quality and macrophyte assemblages in Pampean streams: a regional approach. *Water Research* 41: 1399-1410.
- Gonzalez Castelain J., Usunoff E., Peluso F. y Grosman F.** 1995. Propuestas para la Gestión del Arroyo Azul. Actas del 1er Congreso Nacional de Gestión de Agua y Saneamiento. La Falda. Provincia de Córdoba.
- Gonzalez Castelain, J. y Grosman, F.** 1997. "Monitoreo bacteriológico del sector urbano del arroyo del Azul (prov. de Buenos Aires)". Resúmenes del II Congreso Argentino de Limnología. Buenos Aires, 18 al 24 de septiembre de 1997. pág. 81.
- Graça, M.A.S. y Coimbra, C.N.** 1998. The elaboration of indices to assess biological water quality. A case study. *Water Research* 32: 380-392
- Guisande González, C.; Barreiro, A.; Maneiro, I.; Rivero, I.; Vergara, A. R. y Vaamonde A.** 2006. Tratamiento de Datos. Díaz de Santos editorial S.A. 01 ed. 376 págs.
- Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Fernandez, J.M. y Fernandez, L.** 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Research* 34: 807-816.
- IHLLA.** 2000. Aguas Superficiales. Avance metodológico en el tratamiento de los recursos hídricos en una cuenca de llanura. Cap. 4. Informe final. Instituto de Hidrología de Llanuras. Págs. 36 a 137 y anexos.
- IHLLA.** 2003. Aspecto Hidrológicos del Marco Regional. Herramientas para la gestión sustentable de los recursos hídricos en una cuenca de llanura. Informe final. Instituto de Hidrología de Llanuras. 134 Págs. + anexos.
- Jonson, R.A. y Wichon, D.W.** 1992. Applied Multivariate Statistical Analysis. 3rd ed. 642 págs. Prentice-Hall Internacional, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Marzoratti M.; Ares G.; Varni M. y Entraigas I.** 2006. Caracterización Espacio Temporal de Suelos, Usos y Precipitación para la Realización de un Balance Hídrico Diario de la Cuenca del Arroyo del Azul, Argentina. VIII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Asunción, Paraguay.
- Mugni, H.; S. Jergentz; R. Schulz; A. Maine y C. Bonetto.** 2005. Phosphate and nitrogen compounds in streams of Pampean Plain areas under intensive cultivation (Buenos Aires, Argentina). En: Serrano y Golterman (eds.), Phosphates in sediments, Bachuys Publishers: 163-170.
- Otto, M.** 1998. Multivariate methods. In *Analytical Chemistry*, ed. R. Kellner, J. M. Mermet, M. Otto y H. M. Widmer, 916 pp. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.
- Rodriguez L., Peluso F., y González Castelain J.** 2007. Comparación de Indices de Calidad de Aguas Aplicados en el Arroyo del Azul, Provincia de Buenos Aires.
- Sala, J. M., Kruse, E., y Aguglino, R.** 1987. Investigación hidrológica de la Cuenca del Arroyo del Azul, Provincia de Buenos Aires. CIC, Informe 37.
- Vega, M., Pardo, R., Barrado, E. y Debn, L.** 1998. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research* 32: 3581-3592.
- WHO.** 1987. GEMS/ WATER Operational Guide. World Health Organization. Geneva.
- Wunderlin D. A., Díaz M. del P., Amé, M.V., Pesce S.F., Hued A.C., y Bistoni M. de los A.** 2001. Pattern Recognition Techniques for the Evaluation of Spatial and Temporal Variations in Water Quality. A Case Study: Suquía River Basin (Córdoba-Argentina). *Water Research* 35: 2881-2894.