

XXIV^o Congreso Nacional del Agua 2013

San Juan, 14 al 18 de Octubre de 2013

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO TERCERO (CTALAMOCHITA)

**Patricia O'Mill^{1,2,3}, María Valeria Amé¹, Ana María Cosavella^{2,3}, Nancy Larrosa²,
Patricia Carranza².**

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba. ² Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.

Medina Allende y Haya de la Torre, Cdad. Universitaria, 5000-Córdoba, Argentina.

TEL: +54 351 433-4187 (int. 104) FAX: +54 351 433-3048

³Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación.

E-mail: patriciaomill@gmail.com

Resumen

El Río Tercero, o Ctalamochita, es uno de los más caudalosos y utilizados de la Provincia de Córdoba. En su recorrido pasa por grandes ciudades, donde recibe descargas de industrias y efluentes cloacales.

Se eligieron los sitios antes de las ciudades más importantes y aguas abajo de las mismas, incluyendo de esta forma las descargas cloacales y de las industrias ubicadas cerca del río.

Los sitios seleccionados fueron: al comienzo del nacimiento del río, en la ciudad de Río Tercero, aguas debajo de esta ciudad, antes y después de Villa María, en el balneario de Bell Ville y al finalizar el recorrido del río en el Club Matienzo de la localidad de Saladillo

En este trabajo se caracterizó la calidad del agua del Río Ctalamochita o Tercero, a través de diferentes herramientas estadísticas y mediante el uso del Índice de Calidad de Agua (ICA). Para ello se utilizaron los parámetros clásicos de monitoreo; físicos, químicos y bacteriológicos medidos en agua desde el año 2005 al 2009.

Estos datos se analizaron utilizando estadística descriptiva, el Índice de Calidad de Agua (ICA), y análisis multivariado.

Los resultados de estos análisis evidenciaron el deterioro que sufre el río al atravesar las grandes ciudades, como Villa María y Bell Ville. Estas diferencias son explicadas por algunas variables entre las que se destaca el aumento del contenido de fósforo total aguas abajo de las mencionadas ciudades.

Palabras Claves: Estadística Multivariada, Estadística Descriptiva, Índices de Calidad de Agua.

INTRODUCCIÓN

Caracterización de la cuenca del Río Tercero (Ctalamochita)

El Río Tercero (Ctalamochita) recorre de Oeste a Este, aproximadamente 250 km la llanura de la Provincia de Córdoba, para luego unirse con el río Saladillo y formar el río Carcarañá, afluente del río Paraná (Fig. 1).

La totalidad de las aguas de la cuenca del Río III la conforman los ríos Santa Rosa, Quillinzo, Grande y Los Sauces y el arroyo Amboy, los cuales son alimentados por una infinidad de arroyos que corren de Oeste a Este. La cuenca hidrográfica es de 474 km².

El módulo del río es de 27,6 m³/s, siendo uno de los ríos más caudalosos de la Provincia de Córdoba (UNC-DiPAS, 2007).

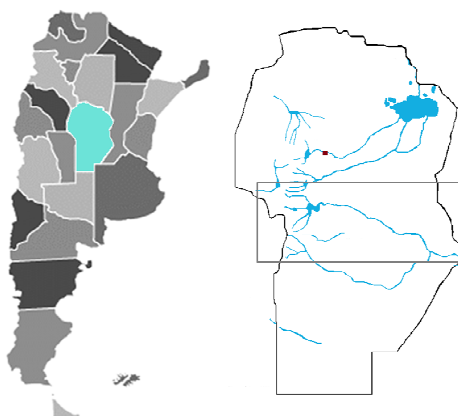


Figura 1. Ubicación provincial de la cuenca en estudio

Objetivo

Caracterizar el Río Ctalamochita según la calidad física, química y bacteriológica de sus aguas, evaluando sus variaciones estacionales y espaciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de Muestreo

Los sitios donde se recolectaron las muestras de agua se detallan a continuación (Fig. 2).

- El primer sitio, balneario de Almafuerde (BA), está localizado en el primer tramo del río a 1 Km aguas abajo del Embalse Piedras Moras.
- En balneario de Río Tercero (B III), ubicado a 15 Km aguas abajo del embalse, y en el centro de la ciudad de Río Tercero y luego de las descargas de las industrias más importantes de la ciudad de Río Tercero (Petroquímica Río Tercero, Atanor y Fábrica Militar).
- Puente los Potreros (PLP), está ubicado aguas abajo de una curtiembre situada en la ciudad de Río Tercero, y se encuentra a 26 Km del embalse.

- Antes de la ciudad de Villa María (Pre VM), situado a 113 Km aguas abajo del nacimiento de río.
- Aguas abajo de la ciudad de Villa María (Pos VM), aguas arriba de este sitio se encuentran los efluentes de industrias lácteas, de gas, la Fábrica Militar Villa María y los efluentes cloacales de la ciudad de Villa María.
- En balneario Parque Tao, aguas arriba del mayor asentamiento de la ciudad de Bell Ville (Pre BV), está situado a 220 Km aguas abajo del embalse.
- Aguas abajo de la ciudad de Bell Ville (Pos BV), recibe las descargas de las industrias de dicha ciudad: una papelera, un frigorífico y la descarga de los líquidos cloacales.
- En Club Matienzo (CM) en la localidad de Saladillo, a 300 Km del embalse, está ubicado a pocos metros de la unión del Río III con el Río Saladillo. A 10 Km aguas arriba de este sitio se encuentra la Ciudad de Monte Buey que descarga mediante un canal sus líquidos residuales en el Río III.

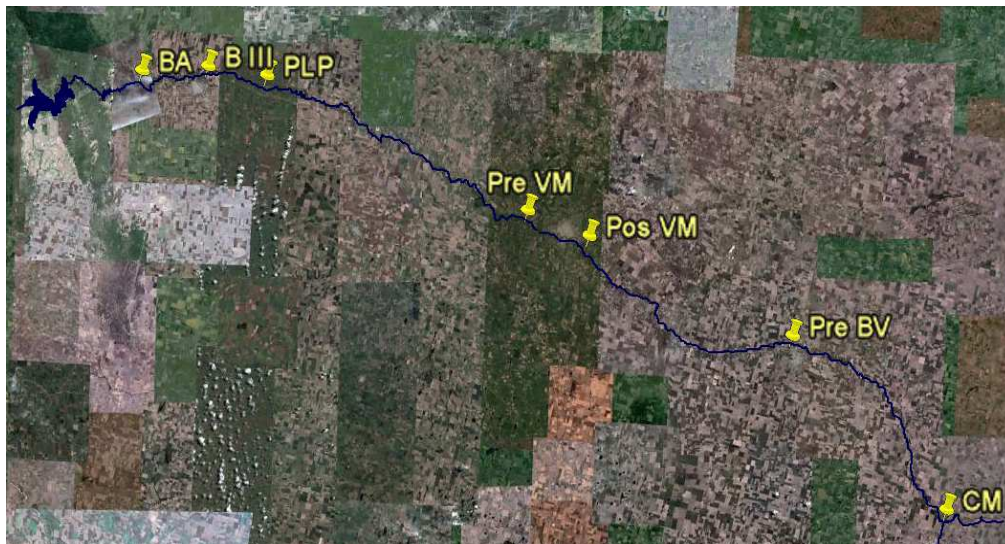


Figura 2. Cuenca media-baja del Río Tercero (área de estudio) con indicación de los sitios de muestreo.

Determinaciones físico químicas y bacteriológicas del agua

Se realizaron sobre muestras recolectadas en los sitios anteriormente mencionados, durante los años 2005 al 2009, en las cuatro estaciones de año: primavera, verano, invierno y otoño, y se analizaron mediante determinaciones estandarizadas. Se midió: alcalinidad total, amonio, Bacterias coliformes totales y *E. coli*, calcio, cloruro, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), dureza total, flúor, fósforo total, magnesio, nitrato, nitrito, oxígeno disuelto, conductividad, turbiedad, pH, potasio, sodio, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, sulfato, temperatura, (APHA, 1992).

Índice de Calidad de Agua (ICA)

El Índice de Calidad del Agua (ICA) engloba en un solo valor las características físicas químicas y bacteriológicas más importantes de una muestra de agua y consiste en asignar un valor determinado para cada parámetro por comparación de su medida con una curva de normalizaciones específicas de cada parámetro, opcionalmente ponderadas y combinadas en un índice final.

El valor del ICA va de 0 a 100, un ICA de 100 representa la máxima calidad, y un valor de ICA por debajo de 50, es incompatible con la vida acuática, (Conesa Fernández-Vitora, 1995).

El ICA da un número que puede ser asociado con un porcentaje de calidad, fácilmente comprensible y basado en un criterio científico.

Análisis estadístico

La evaluación quimiométrica se realizó utilizando dos técnicas multivariadas: análisis de conglomerados (AC), y análisis discriminante (AD). Las dos técnicas fueron realizadas sobre los datos normalizados a media cero y varianza uno (datos estandarizados) para evitar errores en la clasificación de los datos debidos a los diferentes órdenes de magnitud tanto del valor numérico como de la varianza de los parámetros analizados (Johnson y Wichern, 1992; Vega et al., 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el estudio realizado en la cuenca del Río III se pudo observar que para períodos con temperaturas medias a bajas se registraron, en general, menores precipitaciones y mayores caudales del río. En base a estos datos se decidió agrupar los muestreos en dos períodos: frío y cálido, las que se corresponden a períodos de alto caudal y temperaturas bajas y bajo caudal con temperaturas altas, respectivamente.

Con el fin de caracterizar las variaciones que ocurren a lo largo del curso de agua se realizó un análisis en el espacio separado en período (cálido y frío).

Análisis de conglomerado

En primer lugar se realizó un AC para obtener una visión general (exploratoria) del agrupamiento de los sitios de estudio de acuerdo a sus características físicas, químicas y biológicas. El criterio de agrupamiento utilizado fueron los sitios de muestreo, y se emplearon 24 parámetros físicos, químicos y biológicos como variables. Los dendrogramas obtenidos para las dos épocas son muy similares por lo que en la Fig. 3 se muestra solamente el gráfico obtenido en el período cálido. El mismo muestra dos conglomerados al 75 % de la distancia total, donde el superior incluye solamente al sitio CM. Este hecho puede deberse a que CM presenta el valor más alto de conductividad (hasta 6 veces más que en otros sitios) siendo atribuidos estos niveles al contenido de sales presentes en el suelo esa zona (Rodier, 1981).

Si se considera el 50 % de la distancia total, se observan tres conglomerados, el superior incluye únicamente a CM, el siguiente agrupa a los sitios de Pos VM y Pos BV y el conglomerado inferior al resto de los sitios. Con estos resultados se puede ver el efecto de las descargas de líquidos cloacales en el río marcando una diferencia en la calidad del agua al pasar por las ciudades más grandes que se ubican en el curso del Río III. Si se considera el 35 % de la distancia total, las muestras se agrupan en cinco conglomerados donde los tres primeros incluyen únicamente un sitio cada uno: CM, Pos VM y Pos BV. El cuarto conglomerado agrupa los sitios de Pre VM y Pre BV, y el último agrupa a BA, BIII y PLP. Como se puede ver, se agrupan los sitios más próximos al nacimiento del río y por otro lado los sitios que se encuentran antes de las ciudades más importantes (Villa María y Bell Ville) ya a 113 y 120 km aguas abajo del embalse Piedras Moras.

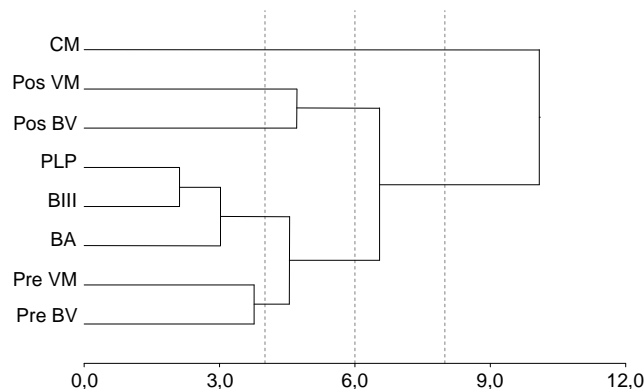


Figura 3. Dendrograma del Análisis de Conglomerados espacial en período cálido considerando 24 variables (encadenamiento promedio, distancia Euclídea).

Índices de Calidad de Agua (ICA)

En la Tabla 1 se muestran los ICA calculados para cada sitio de muestreo agrupado por períodos (cálidos y fríos) y por año (2005-2009).

Sólo se observaron diferencias significativas entre los períodos cálido y frío en Pos VM durante el 2005, en Pre VM, Pos VM y CM en 2006, en BA en 2008 y B III en 2009. Al comparar la calidad del agua de los sitios estudiados para cada período (cálido y frío) por año, los sitios que presentaron diferencias significativas tanto en época cálida como fría, fueron Pos VM y Pos BV (Tabla 1.3.5.). Esto se debe a que Pos VM y Pos BV recibían descargas de líquidos cloacales no tratados y son sitios ubicados aguas abajo de dos de las ciudades más grandes de la zona estudiada, hecho evidenciado por los valores más altos detectados a lo largo del río en estos sitios de bacterias coliformes totales, *Escherichia coli*, y DBO. El sitio CM, presenta diferencias significativas con los otros sitios, en el período frío del año 2005 y en ambos del 2006. Este sitio es el último punto de muestreo, próximo a la unión con el Saladillo, donde el suelo en ese lugar posee alta salinidad, en este lugar se detectaron los valores más altos de sulfato, cloruro, dureza, calcio, sodio, potasio, magnesio, flúor, sólidos disueltos totales y por lo tanto, conductividad.

En el año 2006 se observan diferencias significativas entre los dos períodos de los sitios Pre VM, Pos VM y CM. Esto podría deberse a que en ese año se registraron amplias diferencias de caudal entre las dos estaciones. Caudales altos producen un efecto de dilución para las partículas solubles (Chapman, 1992) lo que puede haber modificado el ICA calculado. Por ejemplo, si observamos los valores de cloruros del 2006, en el período cálido se detectaron valores de hasta dos veces más altos que en el período frío, esto se puede deber al efecto de dilución al que estaba sometido este parámetro en el período frío donde el caudal era mayor. También se destaca, que el primer sitio de muestreo BA, presenta el valor del ICA significativamente más alto en los períodos fríos de los años 2005, 2006 y 2008, y en los cálidos de 2006, 2007 y 2009. Esto se debe a que este sitio no está expuesto a ningún tipo de descarga recibe el agua directamente del Dique Piedras Moras.

Tabla 1. Índices de Calidad determinados por año y períodos en cada sitio de muestreo. Asteriscos (*) indican diferencias significativas entre períodos (cálido y frío) para el mismo sitio. Distintas letras indican diferencias significativas entre sitios.

AÑO	SITIO	ICA, Por Período	
		FRIO	CALIDO
2005	BA	85,68±5,20 ^b	90±2,70 ^b
	B III	77,05±1,75 ^{a,b}	77,71±3,90 ^b
	PLP	77,55±0,64 ^{a,b}	79,64±5,80 ^b
	Pre VM	81,56±4,63 ^{a,b}	84±1,29 ^b
	Pos VM	64,75±4,69 ^{a,b*}	63,71±1,90 ^a
	Pre BV	76,67±9,43 ^{a,b}	80,29±1,10 ^b
	Pos BV	67,58±1,60 ^{a,b}	64,86±3,20 ^a
	CM	63,23±8,2 ^a	69,43±2,56 ^b
2006	BA	90,14±1,01 ^b	89,86±1,10 ^c
	B III	85,29±1,01 ^{a,b}	79,29±3,84 ^{b,c,d}
	PLP	84±3,23 ^{a,b}	73,86±1,41 ^{b,c}
	Pre VM	87,57±0,20 ^{b*}	84,29±0,40 ^{d,e}
	Pos VM	76,71±2,63 ^{a*}	63,43±2,83 ^a
	Pre BV	81,18±0,05 ^{a,b}	75,14±2,83 ^{b,c,d}
	Pos BV	77,43±4,44 ^a	63,71±3,23 ^a
	CM	75,86±2,22 ^{a*}	67±0,20 ^{a,b}
2007	BA	90,39±2,98 ^a	90,14±3,43 ^b
	B III	81,93±4,34 ^a	84±9,29 ^{a,b}
	PLP	84,16±2,70 ^a	79,02±13,64 ^{a,b}
	Pre VM	88,23±3,05 ^a	87,32±1,07 ^{a,b}
	Pos VM	75±2,22 ^a	67,23±4,86 ^{a,b}
	Pre BV	78,00±7,68 ^a	76,52±1,14 ^{a,b}
	Pos BV	70,57±4,45 ^a	62,61±6,92 ^a
	CM	72,4±8,10 ^a	65,86±5,37 ^{a,b}
2008	BA	89,76±0,34 ^{b*}	77,92±1,20 ^b
	B III	76,10±11,3 ^{a,b}	86,3±5,20 ^b
	PLP	73,1±4,38 ^{a,b}	76,92±4,30 ^b
	Pre VM	84,9±1,15 ^{a,b}	81,25±1,28 ^b
	Pos VM	51,59±18,32 ^a	57,08±2,20 ^a
	Pre BV	77,72±7,06 ^{a,b}	68,75±2,26 ^b
	Pos BV	60,91±1,93 ^{a,b}	59,17±1,14
	CM	73,96±4,04 ^{a,b}	63,7±3,50 ^b
2009	BA	86,54±1,53 ^b	72,71±15,62 _{a,b}
	B III	67,40±11,75 ^{b*}	70,63±9,13 ^{a,b}
	PLP	70,59±10,48 ^b	72,92±3,54 ^{a,b}
	Pre VM	83,11±3,69 ^b	85,18±6,15 ^{a,b}
	Pos VM	55,92±6,44 ^a	54,38±3,24 ^a
	Pre BV	77,42±8,37 ^b	66,88±6,78 ^b
	Pos BV	SD	55,6±8,59 ^{a,b}
	CM	78,14±8,29 ^b	61,14±1,61 ^{a,b}

Los resultados obtenidos a través del uso de ICAs son similares a los conseguidos al utilizar el AC. Sin embargo, el análisis de un promedio de los ICAs de todos los años permitiría obtener resultados cuantitativos (Fig. 4). La Fig. 4 muestra que en el período cálido, BA presenta la mejor calidad de agua con un valor significativamente más alto ($88,50 \pm 2,96$). Luego de atravesar la ciudad de Río Tercero, la calidad del agua decrece en un 12 % mostrando una recuperación de un 9 % en Pre VM. Sin embargo, al atravesar la ciudad de Villa María el ICA del Río III sufre un decaimiento del 28 %, el cual se recupera en Bell Ville pero vuelve a caer en Pos BV en un 18 %. En CM solamente logra recuperarse en un 8 % siendo finalmente la caída total del ICA desde BA a CM de un 26%.

En el período frío, la calidad del agua exhibe una variación espacial similar, observándose sólo diferencias significativas con el período cálido en Pos BV, donde el ICA es mayor para el período frío. Nuevamente para el período frío BA presenta el valor significativamente más alto del ICA que cae un 7% en B III. Posteriormente, la calidad de agua se recupera en Pre VM, disminuyendo un 24 % luego de pasar por la ciudad de Villa María. Siguiendo el trayecto del río, en Bell Ville, el ICA se recupera en un 20 %, pero luego de atravesar esta ciudad la calidad vuelve a decaer, en este caso, en un 10 %. La caída total del ICA desde BA a CM en el período frío es de un 14%.

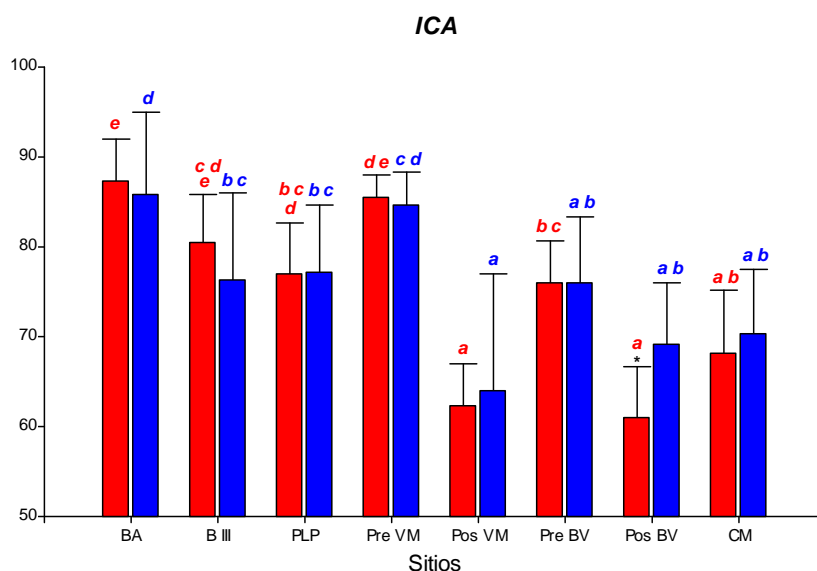


Fig 4. Índices de Calidad de Agua del Río III (promedio de todos los años). Asteriscos (*) indican que hay diferencias significativas entre períodos (cálido y frío) para el mismo sitio. Letras diferentes indican diferencias significativas entre sitios. Rojo: período cálido. Azul: período frío.

Los ICAs ya ha sido utilizado por Pesce y Wunderlin (2000), Contardo-Jara et al. (2009) y Monferrán et al. (2011) para evaluar la calidad de agua del río Suquía. El Río III, en el primer punto de muestreo (BA), presenta valores de ICA de 85 a 90, en cambio los valores más altos registrados en el Río Suquía fueron de 70 a 74 (Pesce y Wunderlin, 2000; Contardo-Jara et al. 2009; Monferrán et al. 2011), sin embargo al atravesar grandes ciudades en ambos ríos la calidad del agua disminuye, detectándose valores más bajos del ICA en el Río Suquía.

Si comparamos la calidad del agua entre el Río III y el Suquía, mediante el uso de los ICAs, el Río III presenta, en general, mejor calidad del agua.

Análisis discriminante (AD)

Con el fin de identificar las principales variables involucradas en las diferencias observadas entre los sitios de monitoreo se realizó un nuevo AD donde se utilizaron 24 parámetros como variables independientes y los sitios de muestreo como grupos de clasificación. El análisis se realizó en período frío y cálido en forma separada.

Las matrices de clasificación obtenidas aplicando el modo estándar, hacia adelante y hacia atrás se muestran en las Tablas 2 (período frío) y 3 (período cálido). Sólo se muestran las funciones discriminantes obtenidas aplicando el modo hacia adelante en las Tablas 4 y 5 (períodos frío y cálido, respectivamente) ya que de esta forma se obtuvo una reducción en el número de variables con una alta discriminación entre sitios.

Tabla 2. Matriz de Clasificación en período frío.

Estación Monitoreada	% Asignaciones correctas	Estación asignada por el AD							
		BA	BIII	PLP	Pre VM	Pos VM	Pre BV	Pos BV	CM
<i>Modo estándar</i>									
BA	100,0	10	0	0	0	0	0	0	0
BIII	90,0	0	9	1	0	0	0	0	0
PLP	90,0	1	0	9	0	0	0	0	0
Pre VM	100,0	0	0	0	10	0	0	0	0
Pos VM	90,0	0	0	0	0	9	0	1	0
Pre BV	90,0	0	0	0	1	0	9	0	0
Pos BV	100,0	0	0	0	0	0	0	10	0
CM	100,0	0	0	0	0	0	0	0	10
Total	95,0	11	9	10	11	9	9	11	10
<i>Modo hacia adelante</i>									
BA	100,0	10	0	0	0	0	0	0	0
BIII	80,0	0	8	2	0	0	0	0	0
PLP	100,0	0	0	10	0	0	0	0	0
Pre VM	100,0	0	0	0	10	0	0	0	0
Pos VM	90,0	0	0	0	0	9	0	1	0
Pre BV	70,0	0	0	0	3	0	7	0	0
Pos BV	100,0	0	0	0	0	0	0	10	0
CM	100,0	0	0	0	0	0	0	0	10
Total	92,5	10	8	12	13	9	7	11	10
<i>Modo hacia atrás</i>									
BA	100,0	10	0	0	0	0	0	0	0
BIII	40,0	0	4	5	1	0	0	0	0
PLP	50,0	0	5	5	0	0	0	0	0
Pre VM	50,0	0	1	0	5	4	0	0	0
Pos VM	60,0	0	0	0	3	6	1	0	0
Pre BV	40,0	0	0	1	0	2	4	3	0
Pos BV	90,0	0	0	0	0	0	1	9	0
CM	100,0	0	0	0	0	0	0	0	10
Total	66,3	10	10	11	9	12	6	12	10

Tabla 3. Función de clasificación en período frío.

Función de Clasificación. Modo hacia adelante.								
	BA	BIII	PLP	Pre VM	Pos VM	Pre BV	Pos BV	CM
Sólidos Disueltos Totales (mg L ⁻¹)	-137,8	-126,3	-109,1	-71	-19,4	-48,7	-30,5	72,1
Turbiedad (UTN)	-17,3	-16,7	-15	-8,5	-3,5	-2,9	0,6	20,8
<i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	-54,8	-48,9	-53,3	-40,7	2,7	-37	-8,1	-7,8
DBO (mg L ⁻¹)	-10,5	-9	-11,1	-7,7	0,7	-7,4	-0,7	-2
Amonio (mg L ⁻¹)	7,7	9,4	9,7	4,3	0,6	2,4	1,6	-3,9
Coliformes Totales (NMP 100 mL ⁻¹)	-9,9	-9,8	-9,6	-8,8	8,3	-9,1	-2,3	-5,6
Fósforo Total (µg L ⁻¹)	6,1	-0,9	3,3	5,6	4	11	2,2	11,4
Nitratos (mg L ⁻¹)	-9	-6,3	-7,1	-3,4	-2,6	-0,8	-0,7	3,6
Fluoruro (mg L ⁻¹)	7,6	15,7	8	4,9	-0,2	5	2,4	-6,3
Dureza (mg L ⁻¹)	32,8	17,9	20,6	17,4	5,6	-7,6	-8,7	-3,1
Calcio (mg L ⁻¹)	-13,5	-16,4	-12,7	-7,7	0,2	11,2	0,9	15,2
Cloruro (mg L ⁻¹)	1,6	11,2	1,9	2,5	1,2	7,1	-0,1	3,2
DQO (mg L ⁻¹)	0,9	1,9	0,6	0,3	-0,4	1,5	-0,3	0,5
Alcalinidad (mg L ⁻¹)	-2,9	-6,2	-3,5	-3,4	-1,3	1,5	0,4	2,3
Nitritos (mg L ⁻¹)	3,4	4,6	3,5	1,1	-0,5	-1,9	-1,3	-4,9
pH	4,1	6,3	4,1	2,5	-1,4	0,2	1,7	-5,5
Na (mg L ⁻¹)	2,5	66,5	39,6	19,9	-30	-22,4	40	-98,6
Sulfato (mg L ⁻¹)	88,5	-3,7	22	19,1	29	65,6	-8	107,9
K (mg L ⁻¹)	-40,7	-11,2	-18,6	-14,2	-5,5	-22,6	-3,6	-25,6
Temperatura (°C)	-7,1	-3,2	-6,1	-5,6	-5,7	-8,2	-3,4	-6,9
Conductividad (mS cm ⁻¹)	-17,2	-14,7	-11,3	-8,1	-1	-6	2,6	5,6
Constante	-58,3	-44,2	-38,1	-19	-13,2	-18,8	-7,1	-60,4

Tabla 4. Matriz de Clasificación en período cálido

Estación Monitoreada	% Asignaciones correctas	Estación asignada por el AD							
		BA	BIII	PLP	Pre VM	Pos VM	Pre BV	Pos BV	CM
<i>Modo estándar</i>									
BA	87,5	7	0	1	0	0	0	0	0
BIII	75,0	1	6	1	0	0	0	0	0
PLP	100,0	0	0	8	0	0	0	0	0
Pre VM	100,0	0	0	0	8	0	0	0	0
Pos VM	100,0	0	0	0	0	8	0	0	0
Pre BV	100,0	0	0	0	0	0	8	0	0
Pos BV	100,0	0	0	0	0	0	0	8	0
CM	100,0	0	0	0	0	0	0	0	8
Total	95,3	8	6	10	8	8	8	8	8

Tabla 4. (cont.) Matriz de Clasificación en período cálido

Estación Monitoreada	% Asignaciones correctas	Estación asignada por el AD							
		BA	BIII	PLP	Pre VM	Pos VM	Pre BV	Pos BV	CM
<i>Modo hacia delante</i>									
BA	87,5	7	0	1	0	0	0	0	0
BIII	62,5	1	5	2	0	0	0	0	0
PLP	87,5	0	1	7	0	0	0	0	0
Pre VM	100,0	0	0	0	8	0	0	0	0
Pos VM	100,0	0	0	0	0	8	0	0	0
Pre BV	100,0	0	0	0	0	0	8	0	0
Pos BV	100,0	0	0	0	0	0	0	8	0
CM	100,0	0	0	0	0	0	0	0	8
Total	92,2	8	6	10	8	8	8	8	8
<i>Modo hacia atrás</i>									
BA	50,0	4	3	0	1	0	0	0	0
BIII	62,5	2	5	1	0	0	0	0	0
PLP	25,0	0	2	2	4	0	0	0	0
Pre VM	50,0	0	1	3	4	0	0	0	0
Pos VM	62,5	0	0	0	0	5	3	0	0
Pre BV	75,0	0	0	0	1	0	6	1	0
Pos BV	75,0	0	0	0	0	1	1	6	0
CM	87,5	0	0	0	0	0	1	0	7
Total	60,9	6	11	6	10	6	11	7	7

Tabla 5. Función de clasificación. Modo hacia delante en período cálido.

Función de Clasificación. Modo hacia adelante.									
	BA	BIII	PLP	Pre VM	Pos VM	Pre BV	Pos BV	CM	
K (mg L ⁻¹)	2,7	-5,9	-9,6	3,6	-14,7	5,9	-1,7	20,7	
Fósforo Total (µg L ⁻¹)	-8,9	-10,7	-4,6	-5,9	18,6	7,8	15,4	1,7	
Sólidos Suspendidos Totales (mg L ⁻¹)	-4,7	-3,7	-2,2	2,1	12,1	2,0	6,8	4,2	
Nitritos (mg L ⁻¹)	-3,1	-1,4	1,3	-3,0	5,5	-1,9	0,3	-2,5	
DBO (mg L ⁻¹)	-1,4	0,7	0,8	-3,7	9,1	-6,6	6,2	-3,0	
Mg (mg L ⁻¹)	-0,5	-1,5	-1,2	-0,4	0,9	-0,2	3,2	0,4	
<i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	-3,7	-3,5	-2,0	-0,6	7,3	1,1	4,0	0,1	
Nitratos (mg L ⁻¹)	-2,6	-2,5	-1,8	-1,2	1,4	1,9	1,2	-1,3	
Coliformes Totales (NMP 100 mL ⁻¹)	2,1	1,9	0,7	1,3	-3,4	-1,6	-1,0	-0,8	
Turbiedad (UTN)	-3,4	-2,5	-2,3	1,8	-3,0	1,5	-1,4	1,5	
Calcio (mg L ⁻¹)	-2,3	-13,0	-7,5	9,3	5,6	1,8	-1,2	-14,0	
Sólidos Disueltos Totales (mg L ⁻¹)	-6,4	15,3	14,4	-16,5	25,0	11,0	21,5	30,6	
Sulfato (mg L ⁻¹)	15,1	-10,6	0,1	-8,5	-10,8	-7,0	-7,9	24,5	
Na (mg L ⁻¹)	-8,7	13,4	-1,1	14,3	-12,5	-8,9	-10,5	-30,5	
DQO (mg L-1)	-1,6	5,5	3,3	-3,3	-2,2	-3,6	-3,5	-3,0	
Fluoruro (mg L-1)	1,9	0,1	-0,9	1,5	-5,5	-1,6	-5,8	-5,2	
pH	-1,1	-0,6	1,0	2,5	0,8	1,3	0,8	0,1	
Temperatura (°C)	5,1	6,6	6,0	5,5	3,4	3,8	7,9	12,3	
Constante	-14,0	-16,8	-10,3	-10,7	-33,7	-12,8	-27,0	-59,3	

La discriminación entre sitios obtenida por los modos estándar y hacia adelante varió para ambos períodos entre 92 y 95 %, mientras que en el modo hacia atrás fue del 60 al 66% de asignaciones correctas. Para el período frío la discriminación espacial de la calidad de agua requiere

de 21 variables para obtener un 92,5 % de asignaciones correctas, mientras que durante el período cálido sólo con 18 variables se obtiene un 92,2 %.

Las variables indicadas por el AD siguen 3 patrones de variación, muy similares para ambos períodos. La Fig. 5 muestra ejemplos de estos patrones donde se observa, en primer lugar, un aumento en la concentración a lo largo del recorrido del río con un incremento mayor en el último sitio (CM). Si bien se muestra la variación de calcio en agua durante el período frío, el mismo patrón se observa para nitratos, temperatura, sólidos suspendidos y disueltos totales, potasio, sodio, magnesio, sulfato, alcalinidad y dureza en los dos períodos (Fig. 5 A). El aumento de estos parámetros, particularmente en CM, se puede asociar a un efecto natural, ya que en esta zona los suelos tienen mayor contenido de sales (Moreyra, 2008). El segundo patrón muestra cambios en la calidad de agua cuando el río atraviesa las mayores urbanizaciones. Este patrón se observa para fósforo total, nitritos, amonio, DBO, coliformes totales y *E. coli* y evidencia el fuerte efecto antrópico de algunas localidades y ha sido observado en otros cuerpos de agua similares (Štambuk-Giljanović, 2010). En la Fig. 5 B se muestra como ejemplo de este segundo patrón la variación de fósforo total durante el período cálido. En el tercer patrón se muestra un comportamiento que conjuga los dos primeros perfiles, con un aumento en las concentraciones a lo largo del recorrido del río, siendo los incrementos mucho mayores al atravesar las principales ciudades. Este patrón es observado para turbiedad (Fig. 5 C), pH, conductividad, cloruros, fluoruros y DQO.

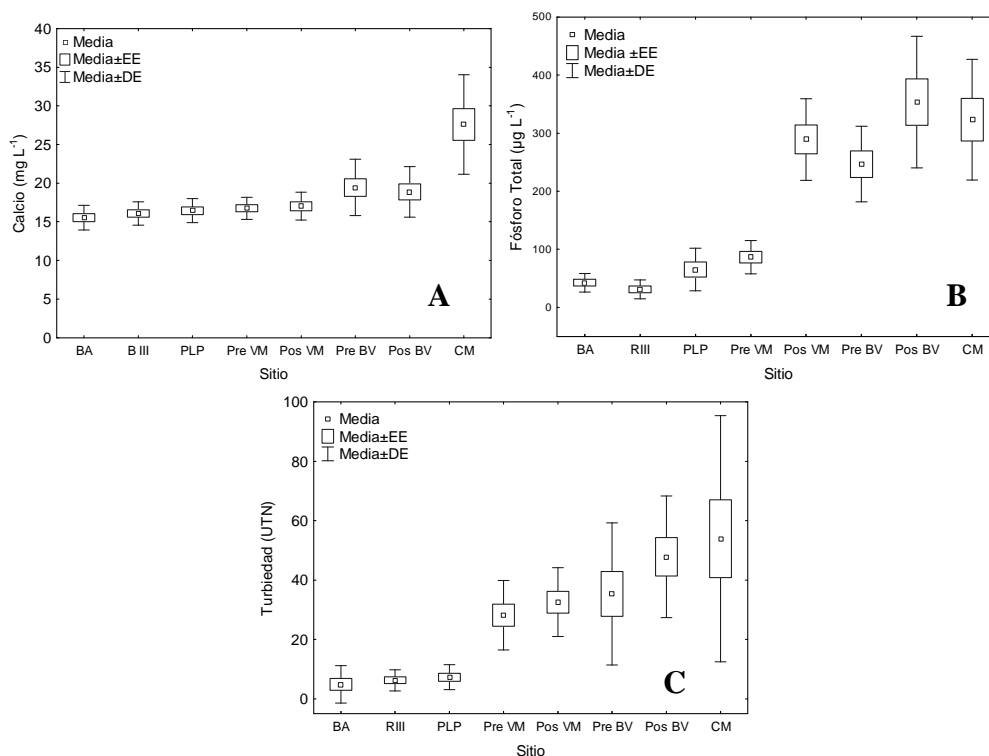


Figura 5. Gráficos de cajas indicando los distintos patrones de variación espacial observados. A: Calcio en período frío, B: Fósforo Total en período cálido y C: Turbiedad en período frío.

Variaciones naturales como las observadas en el primer y segundo patrón se describieron para las mismas variables en el Río Suquía (Wunderlin et al., 2001; Monferrán et al., 2011), indicando la importancia de las mismas para caracterizar la distintas fuentes de contaminación.

CONCLUSIONES

El AC resultó práctico como método exploratorio. Para el análisis espacial dio una visión general de la similitud de los sitios muestreados, agrupando a las zonas que reciben descargas de líquidos cloacales, Pos VM y Pos BV. Estos resultados dan una idea general de que estos sitios poseen similitudes y son diferentes del resto de los sitios, pero no aporta detalles de esas diferencias.

El uso del ICA permitió analizar las variaciones temporales y espaciales de la calidad de agua del Río III, indicando principalmente diferencias significativas entre sitios de muestreo. Con estos resultados se pudo observar el grado de deterioro que sufre el río al atravesar las grandes ciudades como Villa María y Bell Ville. A la fecha ambas ciudades poseen sus EDAR.

El AD resultó útil para la evaluación de la variación espacial y estacional de la calidad de agua en la cuenca del Río III, ya que permitió identificar las variables físicas y químicas responsables de estas variaciones. El uso conjunto del AD con gráficos de cajas proporcionó una herramienta válida para evaluar los patrones seguidos por estas variables e identificar, en el caso del análisis espacial, posibles fuentes causantes de los cambios en la calidad de agua. Para algunas variables, como el fósforo total, se observaron aumentos significativos al atravesar las ciudades más grandes, indicando claramente una contaminación antrópica. Las concentraciones de calcio y sólidos totales, entre otros parámetros, mostraron un aumento a lo largo del recorrido río indicando una variación natural. Los cambios observados para algunas de estas variables podría asociarse con la modificación en la composición de los suelos a medida que el río avanza hacia el oeste hasta llegar a la unión con el río Saladillo, donde su salinidad aumenta.

BIBLIOGRAFÍA

- American Public Health Association, [APHA], American Water Works Association [AWWA], Water Environment Federation [WEF], 2005.** “*Standard methods for the examination of water and wastewater*”, ed. A. D. Eaton, L. S. Clesceri, E. W. Rice, A. H. Greenberg, Baltimore, USA, 905.
- Merlo C., Abril A., Amé M.V., Argüello G.A., Carreras H.A., Chiappero M.S., Hued A.C., Wannaz E., Galanti L.N., Monferrán M.V., González C.M., Solís V.M., 2011.** Integral assessment of pollution in the Suquía River (Córdoba, Argentina) as a contribution to lotic ecosystem restoration programs. “*Science of the Total Environment*”, 409, 5034-5045.
- Chapman D., 1992.** Water Quality Assessments. “*A guide to the use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*”. Ed. Chapman, D. on behalf of UNESCO, WHO, UNEP, 585 pp.
- Wunderlin D.A., Díaz M.P., Amé M.V.; Pesce S.F., Hued A.C., Bistoni M.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 (12), 2881-2894.
- Moreyra F., 2008.** Aspectos medioambientales de la cuenca del Río Tercero (Ctalamochita) y su relación con la calidad de agua. “*Informe técnico práctica supervisada*”.
- Rodier J., 1992.** “*Análisis de Las Aguas*”. Ed. Omega S.A., Barcelona, España, 1080 pp.
- Vega M., Pardo R., Barrado E., Debn L., 1998.** Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. “*Water Research*”, 32, 3581–3592.
- Štambuk-Giljanović N., 2010.** The Pollution Load by Nitrogen and Phosphorus in the Cetina River. “*Water Air Soil Pollution*”, 211, 49-60.
- Pesce S. F., Wunderlin D. A., 2000.** Use of water quality index to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquía river. “*Water Research*”, 3, 2915-2926.
- UNC-DiPAS, 2007.** Estudio de contaminación del Río Tercero (Ctalamochita) y control de vertidos. “*Primer Informe Técnico*”. Disponible en la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba, 136 pp.
- Conesa Fernandez-Vitora V., 1995.** In: “*Methodological Guide for Environmental Impact Evaluation*” (Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental) Mundi-Prensa, Madrid, 2da ed., 390pp.
- Contardo-Jara V., Galanti L. N., Amé M. V., Monferrán M. V., Wunderlin D. A., Wiegand C., 2009.** Biotransformation and antioxidant enzymes of *Limnoperna fortunei* detect site impact in watercourses of Córdoba, Argentina. “*Ecotoxicology and Environmental Safety*”, 72, 1871-1880.