



DOI: 10.24850/j-tyca-2019-02-09

Notas

## **Cuantificación de la constante de desoxigenación por demanda bentónica del río Tercero (Ctalamochita), provincia de Córdoba, Argentina**

### **Measurement of sediment oxygen demand rates for benthic demand of Tercero (Ctalamochita) River, Córdoba province, Argentina**

María Laura Chalimond<sup>1</sup>Marina Ferreyra<sup>2</sup>Ana María Cossavella<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación, Córdoba, Argentina, mlaura.chali@gmail.com

<sup>2</sup>Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación, Córdoba, Argentina, marinaferreyra69@gmail.com

<sup>3</sup>Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación, Córdoba, Argentina. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, acossav@gmail.com

Autor para correspondencia: María Laura Chalimond, mlaura.chali@gmail.com

### **Resumen**

La modelación del oxígeno disuelto de un río constituye una valiosa herramienta en la evaluación de su calidad. De allí la importancia de valorar los distintos procesos involucrados, entre ellos la demanda bentónica, es decir, el consumo de oxígeno de la columna de agua en la

interfaz agua-sedimento. Considerando que no se dispone de ningún estudio experimental referido a este tema para el río Tercero (Ctalamochita), Córdoba, Argentina, este trabajo tiene como objetivo cuantificar a nivel de laboratorio su demanda bentónica en ocho sitios a lo largo de su cauce, a partir de muestras de sedimento tomadas en cinco campañas efectuadas entre junio de 2013 y junio de 2014, empleando respirómetros individuales. Teniendo en cuenta la variabilidad del oxígeno disuelto en función del tiempo, el volumen de agua confinada, la superficie del sedimento y las características de los respirómetros, se calculó la demanda bentónica, aplicando la ecuación utilizada por Nolan y Johnson (1979), propuesta por USEPA. La falta de antecedentes para el río en estudio imposibilitó comparar los resultados obtenidos; sin embargo, el intervalo de valores hallados a 20 °C estuvo comprendido entre 0.040 y 0.484 gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>d, siendo similares a los reportados por USEPA para sedimentos minerales y arenosos de ríos (0.05-1.00 gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>d). Los resultados obtenidos permiten comprender el comportamiento del sedimento béntico y su influencia en el oxígeno disuelto del cuerpo hídrico en estudio.

**Palabras clave:** Demanda bentónica, respirómetros individuales, oxígeno disuelto, río Tercero (Ctalamochita).

### Abstract

Modeling of dissolved oxygen technique in rivers is a valuable tool for assessing water quality. Hence, assessment of different processes is of great importance, like benthic demand, that is to say, oxygen consumption of the water column in the water-sediment interface. At the moment there are no previous studies related to this field for the Tercero (Ctalamochita) River (Córdoba, Argentina). The aim of this study was to measure the benthic demand of Tercero (Ctalamochita) River from sediment samples that were taken at eight sites in five campaigns during one year (June, 2013 to June, 2014), using individual respirometers. Taking into account the variation of the dissolved oxygen as regards time, water volume, sediment area and characteristics of respirometers, benthic demand was estimated using the equation of Nolan and Johnson, (1979) proposed by the USEPA. Since there is no previous data, it was impossible to compare the acquired results.

However, the range values found at 20 °C was between 0.040 and 0.484 gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>d, being similar to those reported by the USEPA for mineral and sandy river sediments (0.05-1.00 gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>d). These results allow us to understand the behavior of benthic sediment and its influence on the dissolved oxygen.

**Keywords:** Sediment oxygen demand, individual respirometers, dissolved oxygen, Tercero (Ctalamochita) River.

Recibido: 07/07/2015

Aceptado: 30/07/2018

## Introducción

Al evaluar la calidad de un río resulta relevante la modelación del oxígeno disuelto (OD), considerando los diferentes procesos que aportan y consumen oxígeno; entre estos últimos se encuentra la demanda bentónica (SOD, del inglés *Sediment Oxygen Demand*), definida como el consumo de oxígeno disuelto de la columna de agua debido a la combinación de procesos biológicos, bioquímicos y químicos en la interfaz agua-sedimento (Lee & Jones-Lee, 2000).

## Objetivos

- Proponer una guía metodológica para determinar la demanda bentónica empleando respirómetros individuales.

- Cuantificar la constante de desoxigenación por demanda bentónica del río Tercero (Ctalamochita) en sitios localizados aguas arriba y aguas abajo de las descargas de líquidos residuales que recibe.

## Área de estudio

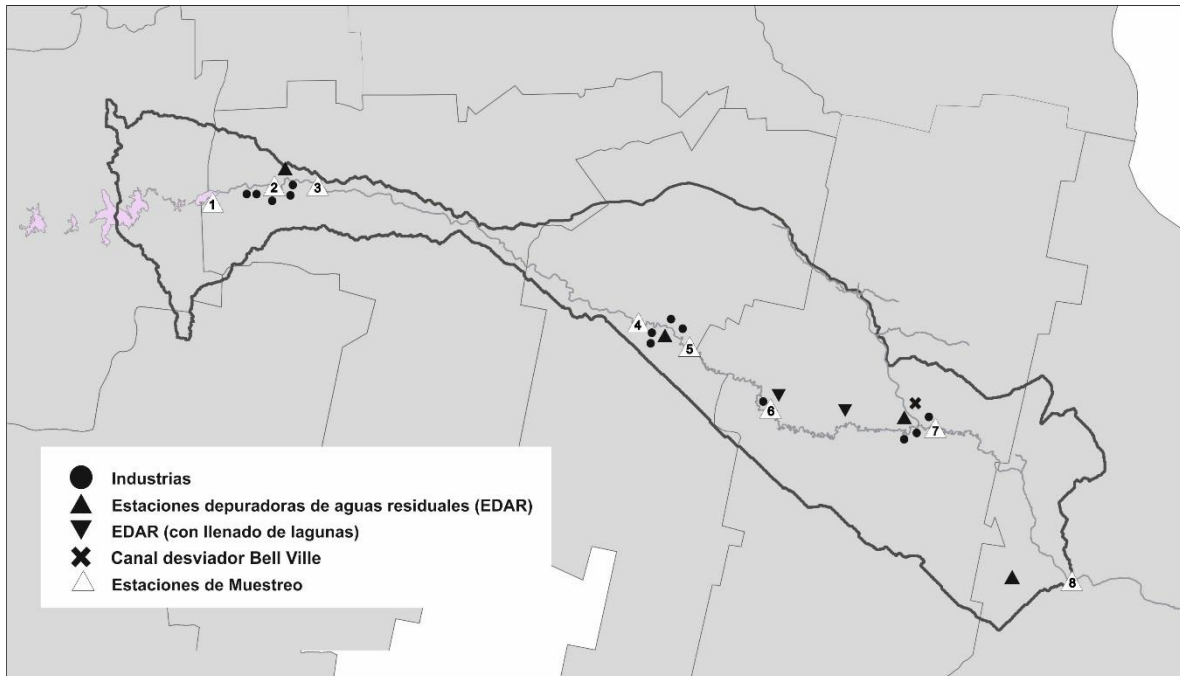
El río Tercero (Ctalamochita), uno de los más importantes de la provincia de Córdoba, nace en el embalse Piedras Moras y desde allí recorre en sentido oeste-este unos 300 km de territorio a lo largo de la provincia, siendo afluente indirecto del río Paraná, perteneciente a la cuenca del Plata. A lo largo de su recorrido es utilizado para abastecimiento de agua potable, riego, uso industrial e hidroeléctrico. Su principal fuente de contaminación proviene de la urbanización cercana a su cauce y su empleo como cuerpo receptor de efluentes de diferentes industrias, además de las descargas cloacales de cuatro plantas depuradoras, provenientes de las ciudades Río Tercero, Villa María, Bell Ville y Monte Buey, y un canal de líquidos pluviales que atraviesa una cuenca agrícola ganadera (canal derivador o desviador Bell Ville) (Cossavella *et al.*, 2013).

## Materiales y métodos

### Estaciones de monitoreo y toma de muestras

Se definieron ocho sitios (Figura 1) para el muestreo de sedimento en función de las características físicas del área, la velocidad del flujo del curso de agua, la posibilidad de tener acceso en forma segura a las márgenes y usos del río, en particular descargas de líquidos residuales:

1. Balneario Almafuerte (BA) (S 32° 10' 11" W 64° 15' 59"), a 2 km del embalse Piedras Moras; recibe el agua directamente de éste.
2. Balneario Río III (BIII) (S 32° 09' 36" W 64° 06' 40"), luego del vertido de efluentes de un importante polo industrial.
3. Puente Los Potreros (PLP) (S 32° 09' 29" W 64° 01' 39"), tras la descarga de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de la ciudad Río Tercero.
4. Puente Andino (PA) (S 32° 25' 12" W 63° 18' 11"), sitio alejado del vertido de efluentes.
5. Aguas abajo de la EDAR de Villa María (BOSN) (S 32° 27' 48" W 63° 11' 00"), a 130 km del embalse Piedras Moras.
6. Ballesteros (AB) (S 32° 34' 54" W 63° 00' 20"), aguas arriba del vertido de líquidos residuales de la ciudad de Bell Ville.
7. Aguas abajo de la colectora cloacal de Bell Ville (S 32° 36' 55" W 62° 37' 47") (AACCBV), a 236 km del embalse Piedras Moras.
8. Saladillo (MB) (S 32° 54' 50" W 62° 19' 33") aguas abajo de la descarga de líquidos residuales de la ciudad de Monte Buey, sitio localizado a 294 km del embalse Piedras Moras y a pocos metros de la confluencia del río Tercero (Ctalamochita) con el río Saladillo.



**Figura 1.** Estaciones de monitoreo de sedimento y localización de fuentes puntuales que descargan en el río Tercero (Ctalamochita).

Se recolectaron muestras de sedimento en junio, septiembre y noviembre de 2013, y en abril y junio de 2014 en las ocho estaciones. Cabe destacar que el monitoreo efectuado en abril de 2014 fue posterior a un periodo extraordinario de crecidas del río Tercero (Ctalamochita) acontecido entre los meses de febrero y marzo de ese año. Durante las campañas, valores registrados de velocidad media del flujo del río en estudio fueron superiores a 0.5 m/s, por lo que el muestreo se efectuó sólo en las orillas (López-Martínez, Galindo-González, & Romo-Moreno, 2009). Se tomaron muestras de alrededor de 5 centímetros de espesor, por debajo del agua, en zonas con poca turbulencia, a una profundidad aproximada de 10 a 20 cm, utilizando una pala. Las muestras se depositaron en bolsas transparentes de polietileno de alta densidad previamente rotuladas y cerradas mediante precintos; luego, en una bolsa negra, para impedir el paso de la luz, y se refrigeraron en una conservadora. En el laboratorio, las muestras se mantuvieron a 4 °C

hasta su procesamiento (USEPA, 2001), que se llevó a cabo dentro de los 14 días posteriores a la extracción (Lee & Jones, 1999; USEPA, 2001; Baena, Silva, & Ramirez-Callejas, 2004).

## **Consideraciones previas al desarrollo metodológico propuesto**

### **Agua confinada**

La demanda bentónica se evaluó de forma indirecta a través del déficit de oxígeno que se producía en el agua al estar en contacto con el sedimento. Se trabajó con agua de dilución, recomendada por los *Standard Methods* para llevar a cabo el procedimiento de demanda bioquímica de oxígeno. Como un control aproximado de la calidad de ésta, se hizo un blanco cada vez que fue preparada.

### **Frascos respirométricos y de reacción**

Se requirieron dos tipos de frascos, con tapa esmerilada y cierre hermético de volúmenes conocidos (calibrados a 20 °C). Por un lado, aquellos en los que se realizó la siembra de sedimento y se los incubó el tiempo requerido (respirómetros individuales) de aproximadamente 300 cm<sup>3</sup>, y otros de menor volumen (frascos de reacción), a los cuales se les trasvasó el líquido sobrenadante de los primeros y en los que se llevó a cabo el agregado de reactivos para la valoración del oxígeno disuelto yodométricamente. La calibración de los respirómetros resultó



relevante, por cuanto el método propuesto para la determinación de la SOD exige que el proceso cinético se desarrolle en distintos frascos.

### **Acondicionamiento de la muestra y determinación de la siembra de sedimento**

Se escurrió el agua y se eliminaron materiales gruesos arrastrados durante la extracción de muestra que no eran representativos (USEPA, 2001). Para llevar a cabo una mayor homogeneización, se hizo de manera manual y externamente una mezcla del sedimento, manteniendo la bolsa cerrada, para evitar el ingreso de aire.

Para cada sedimento se efectuaron distintas pruebas, donde la única variable resultó ser la cantidad de muestra sembrada, y se evaluó la variabilidad del oxígeno disuelto con el transcurso del tiempo. A partir de los resultados obtenidos fue posible estimar el volumen y peso de sedimento conveniente a sembrar para cada sitio de monitoreo. Así, cada experiencia se realizó partiendo de una concentración de oxígeno disuelto que posibilitara su seguimiento a lo largo del tiempo y finalizara el ensayo con cierta concentración residual de oxígeno.

Con el fin de lograr que la superficie de sedimento en contacto con el agua confinada fuera homogénea en todos los respirómetros, se llevó a cabo manualmente un giro de cada frasco una vez que fue sembrado y se inició el llenado con el agua confinada.

### **Relación entre el volumen del agua confinada y la superficie del sedimento sembrado**



Una vez establecida la cantidad óptima de sedimento a sembrar para llevar a cabo un ensayo, el volumen de agua confinada quedó automáticamente fijado por el volumen de cada frasco. De esta manera se definió una relación entre el volumen del agua confinada y la superficie de sedimento, que se correspondió con la más conveniente para la determinación propuesta para cada muestra en particular. Resultó importante mantener esta relación constante en cada uno de los respirómetros utilizados en un mismo ensayo, para que el proceso cinético se desarrollara en igualdad de condiciones en cada uno de ellos.

### **Demanda inmediata de oxígeno disuelto y tiempo de monitoreo del oxígeno disuelto**

El movimiento producido como consecuencia del procedimiento de siembra y llenado del respirómetro con el agua a confinar generó una demanda inmediata de oxígeno, en la cual la variación de la concentración de OD con el tiempo fue muy rápida y no lineal, y no era de interés para cuantificar la constante de desoxigenación por parte del sedimento (Nolan & Johnson, 1979; Caldwell & Doyle, 1995; Rounds & Doyle, 1997; Lee & Jones, 1999). Para evaluarla en las condiciones de trabajo, se sembró una muestra de sedimento y se midió la concentración de oxígeno disuelto a los cinco minutos y a intervalos de 10 minutos dentro de la primera hora del ensayo. A partir de dicho tiempo, las lecturas se hicieron en intervalos mayores, para evaluar la variabilidad lineal del oxígeno disuelto en función del tiempo. La mayoría de los ensayos se llevó a cabo durante 26 a 27 horas, intervalo de tiempo que permitió hacer un seguimiento de la disminución del OD como consecuencia de la demanda ejercida por el sedimento.

### **Precisión intraensayo**

Con el propósito de evaluar la precisión del método para calcular la constante de desoxigenación por demanda bentónica y conocer la distribución de los errores aleatorios, se llevó a cabo un ensayo de repetibilidad o precisión intraensayo (ISO, 1994). Para que los datos tuvieran validez estadística, se realizaron 20 determinaciones. Cada respirómetro se sembró con una diferencia de 15 minutos y las lecturas del oxígeno disuelto residual se hicieron a las 16 horas. El ensayo se hizo con la muestra de sedimento tomada en noviembre de 2013, aguas abajo de la colectora cloacal de Villa María.

## **Instrumental y reactivos requeridos**

Se empleó el siguiente instrumental: balanza analítica y granataria; frascos calibrados de vidrio con tapa esmerilada y cierre hermético de aproximadamente 300 cm<sup>3</sup> (respirómetros individuales) y de alrededor de 220 cm<sup>3</sup> (frascos de reacción); embudo; probeta; espátula; piseta; reloj; termómetro; incubadora, y equipamiento requerido para la caracterización de sedimento. Los reactivos fueron los necesarios para la valoración del OD mediante el método de Winkler modificado por Alsterberg y los necesarios para el agua de dilución (Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012).

## **Procedimiento para cuantificar la demanda bentónica utilizando respirómetros individuales**

Lo primero que se hizo fue preparar el agua de dilución y acondicionar la muestra. Luego se realizaron ensayos previos para establecer la

cantidad óptima de muestra a sembrar. A partir de los resultados obtenidos se inició el desarrollo metodológico:

1. Se llenó con sedimento una cubeta de volumen conocido, utilizando una espátula.
2. Se enrasó la cubeta y rápidamente se registró su peso, empleando una balanza granataria, con el objetivo de fijar, además del volumen, el peso de muestra a sembrar en cada frasco.
3. Se pasó el sedimento de la cubeta al frasco respirométrico utilizando un embudo y una espátula, los cuales se lavaron usando primero una piseta y luego una probeta con 50 ml de agua de dilución. Luego se introdujo un volumen aproximado de 100 ml del agua de dilución, dejándola deslizar por las paredes del frasco y se realizó de forma manual un giro del mismo, con el propósito de emparejar la superficie del sedimento en el respirómetro.
4. Se completó de forma lenta el volumen del frasco con el agua de dilución.
5. Al finalizar el llenado, se cerró con rapidez, evitando que quedaran burbujas de aire, y se registró el tiempo.
6. Cada frasco respirométrico una vez sembrado, se dejó en reposo, en una incubadora calibrada a 20 °C.
7. Transcurrido el intervalo de tiempo preestablecido para un determinado respirómetro, se trasvasó de manera muy cuidadosa el agua sobrenadante de éste al frasco de reacción, minimizando la resuspensión del sedimento. De inmediato se agregaron los reactivos necesarios para la valoración del oxígeno disuelto a través el método de Winkler modificado por Alsterberg.

El procedimiento descrito se repitió con cada uno de los respirómetros que participaban en un ensayo (Figura 2).



**Figura 2.** A: siembra del sedimento; B: llenado del respirómetro con agua de dilución; C: respirómetros sembrados; D: trasvase del agua confinada al frasco de reacción; E y F: titulación del OD.

Para llevar a cabo el cálculo de constante de desoxigenación por demanda bentónica se aplicó la ecuación utilizada por Nolan y Johnson (1979), propuesta por la USEPA:

$$SOD = \frac{\{(OD_i - OD_f) - (B_i - B_f)\} V}{(T_f - T_i) S} \quad (1)$$

Donde  $SOD$  es la demanda bentónica ( $gO_2/m^2d$ );  $OD_i$ , el oxígeno disuelto en el primer frasco respirométrico ( $g/m^3$ );  $OD_f$ , el oxígeno disuelto en el último frasco respirométrico ( $g/m^3$ );  $B_i$  y  $B_f$ , el oxígeno disuelto inicial y final, respectivamente, del agua confinada cuando se trabaja con agua del río ( $g/m^3$ );  $V$ , el volumen de agua confinada ( $m^3$ );  $S$ , el área de sedimento ( $m^2$ );  $T_f$ , el tiempo de lectura del último frasco respirométrico (días), y  $T_i$  es el tiempo de lectura del primer frasco respirométrico (días). En este trabajo, se utilizó agua de dilución como agua confinada y tras realizar un blanco cada vez que fue preparada, se corroboró que la misma no demandaba oxígeno disuelto en el tiempo transcurrido de cada ensayo. Por lo tanto, se despreció el término  $(B_i - B_f)$ .

Todos los respirómetros una vez sembrados se llevaron a una incubadora a 20 °C, por lo que no fue necesario realizar correcciones por temperatura a los valores calculados de demanda bentónica.

El volumen del agua confinada en los respirómetros se obtuvo por diferencia entre el volumen de cada uno de ellos y el volumen de sedimento sembrado. En este trabajo se adoptó como criterio calcular la media de los volúmenes de agua confinada de todos los frascos empleados en cada ensayo, estandarizar los datos obtenidos de oxígeno disuelto refiriéndolos a ese volumen y utilizar dicho valor en la ecuación (1). Fue la única manera de garantizar que el proceso cinético desarrollado en cada frasco haya sido el mismo, posibilitando informar una correcta y comparable concentración de OD en cada respirómetro.

## Caracterización de sedimentos

Al finalizar las cuantificaciones de *SOD*, las muestras de sedimento se caracterizaron en función de su aspecto; color; olor; densidad; pH; humedad; sólidos totales, fijos y volátiles, y a partir de éstos se obtuvo un valor aproximado del contenido de materia orgánica.

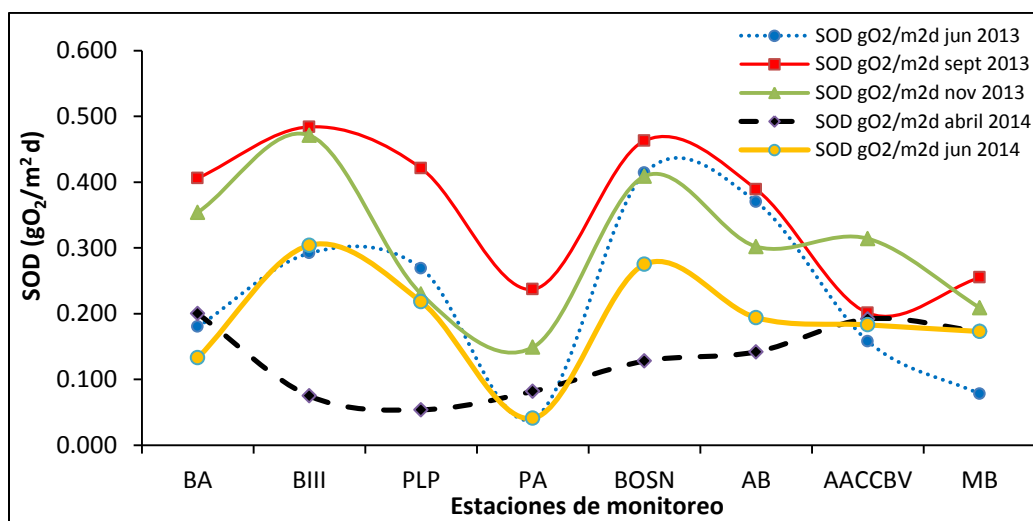
## Resultados

La demanda inmediata de oxígeno tuvo lugar dentro de los primeros 45 minutos aproximadamente, motivo por el cual se registraron datos a partir de los 60 minutos para cuantificar la demanda bentónica.

A partir del ensayo de repetibilidad se observó que la media y la mediana coincidieron, por lo que el valor que apareció con mayor

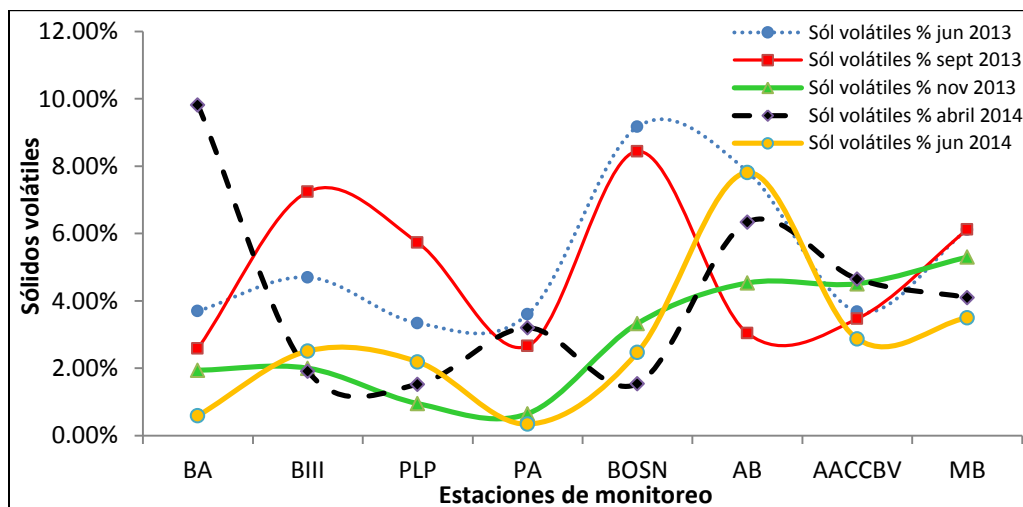
frecuencia fue el que ocupó el centro de la distribución. La precisión de los resultados de la medición, expresados como una desviación estándar obtenida bajo condiciones de repetibilidad, fue de 0.05 mg/l.

Los resultados obtenidos de la constante de desoxigenación bentónica en las ocho estaciones del río Tercero (Ctalamochita), cuantificadas entre junio de 2013 y junio de 2014, se muestran en la Figura 3. Exceptuando la campaña de abril de 2014, donde se tomaron muestras bajo condiciones alteradas, los mayores valores se encontraron en BIII y en BOSN, aguas abajo de un polo industrial y de una colectora cloacal, respectivamente. Los valores menores se cuantificaron en PA, sitio en donde las actividades antrópicas tienen poca influencia sobre el río.



**Figura 3.** Variabilidad espacial y temporal de la demanda bentónica.

En cuanto a la caracterización de las muestras, se pudo evidenciar en la mayoría de los casos que altos valores de demanda bentónica se correspondieron con los sedimentos con mayor porcentaje de sólidos volátiles y viceversa, siguiendo además, un mismo patrón a lo largo de los sitios de muestreo, exceptuando los resultados de la campaña de abril de 2014 (Figura 4).



**Figura 4.** Variabilidad espacial y temporal de los sólidos volátiles.

De modo complementario y como era de esperarse, se evidenció en la mayoría de los casos un comportamiento opuesto entre la demanda de oxígeno ejercida por el sedimento y el oxígeno disuelto del agua cuantificado en cada estación de monitoreo, y una conducta similar entre la demanda bentónica y la demanda bioquímica de oxígeno del agua. Dichos resultados ratificarían lo reportado por diferentes autores en relación con el importante papel que juega el sedimento en el balance de oxígeno de una corriente (USEPA, 1985; Caldwell & Doyle, 1995; Baena *et al.*, 2004; Mateus-García, 2011).

## Discusión

Los mayores valores de demanda bentónica se cuantificaron aguas abajo del vertido de una planta de líquidos cloacales y aguas abajo de la descarga de efluentes provenientes de un polo industrial. En contraposición, el menor valor se obtuvo en un sitio alejado del vertido



de aguas residuales. Los resultados hallados ponen de manifiesto la influencia de las actividades antrópicas en el consumo de oxígeno por parte del sedimento en el río estudiado.

La falta de antecedentes sobre la demanda bentónica en el río Tercero (Ctalamochita) imposibilita comparar los resultados obtenidos. Sin embargo, el intervalo de valores de *SOD* obtenidos a 20 °C estuvo comprendido entre 0.040 y 0.484 gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>d, siendo similares a los reportados por la EPA para sedimentos minerales y arenosos de ríos (USEPA, 1985). Las diferencias halladas en los distintos sitios y épocas se atribuyeron a diversos factores, entre ellos las características de cada sedimento; las distintas condiciones estacionales e hidrológicas en las que se efectuaron los muestreos como el caudal; la velocidad del agua; la temperatura, y la heterogeneidad de cada sedimento, además de la influencia de la descarga de líquidos residuales.

La metodología propuesta, con sus debidos controles y consideraciones, contribuye a la evaluación de la calidad de las aguas naturales, haciendo un aporte a la modelación del oxígeno disuelto.

## Conclusiones

- La metodología aplicada permitió cuantificar la demanda de oxígeno ejercida por el sedimento empleando respirómetros individuales sin la necesidad de agitar el agua confinada.
- Exceptuando la campaña de abril de 2014, la menor demanda bentónica se obtuvo en un sitio alejado del vertido de efluentes, y los mayores valores se cuantificaron aguas abajo de un polo industrial y de una colectora cloacal. Los hallazgos obtenidos evidencian la influencia de las actividades antrópicas sobre la demanda de oxígeno que ejerce el sedimento.
- La determinación experimental de la constante de desoxigenación bentónica del río Tercero (Ctalamochita) realizada en este estudio, se

convirtió en una primera aproximación para ser considerada en el balance del oxígeno disuelto del río.

- La metodología propuesta, con sus debidos controles, resulta ser accesible por la mayoría de los laboratorios, al requerir instrumental básico para cuantificar la demanda bentrónica, de manera que puede ser fácilmente aplicada a distintos cuerpos de agua, con el propósito de calibrar modelos con datos reales, contribuyendo a la evaluación de la calidad del recurso.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), a Hidromediterránea, y a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

### Referencias

- Baena, L. M., Silva, J. P., & Ramirez-Callejas, C. (2004). Estudio experimental para la determinación de las constantes bénticas en el río Cauca. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 1(1), 12-17.
- Caldwell, J. M., & Doyle, M. C. (1995). *Sediment oxygen demand in the lower Willamette River, Oregon, 1994* (Report 95-4196). U.S. Geological Survey Water Resources Investigations, Oregon, United States.
- Cossavella, A., Carranza, P., Oroná, C., Monarde, F., Larrosa, N., Nadal, F., Roqué, M., Nuño, C., Hunziker, M., Ferreyra, M., Brito, R., Saldaño, V., Melián, J., Bresciano, J., & Diaz, A. (octubre, 2013). Gestión de efluentes líquidos en la cuenca del río Tercero (Ctalamochita). En Simposio llevado a cabo en el XXIVº Congreso Nacional del Agua, San Juan, Argentina.
- ISO, International Organization for Standardization. (1994). *ISO 5725-1:1994. International standard. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1: General principles*

- and definitions*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization
- Lee, G. F., & Jones, R. A. (1999). *Oxygen demand of US waterway sediments*. Report. El Macero, USA: G. Fred Lee & Associates.
- Lee, G. F., & Jones-Lee, A. (2000). *Issues in developing the San Joaquin River. Deep water ship channel DO TMDL. Report to San Joaquin River Dissolved Oxygen Total Maximum Daily Load Steering Committee and the Central Valley Regional Water Quality Control Board Sacramento, USA*. Report. El Macero, USA: G. Fred Lee & Associates.
- López-Martínez, M. L., Galindo-González, D. F.- & Romo-Moreno, G. D. (2009). Determinación de la constante de desoxigenación por demanda béntica en el río Pasto. *Criterios*, (23), 59-73.
- Mateus-García, S. I. (2011). *Determinación de la influencia de los factores hidrodinámicos y de calidad del agua en la demanda béntica de la cuenca alta del río Bogotá* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Nolan, P. M., & Johnson, A. F. (1979). *A method for measuring sediment oxygen demand using a bench model benthic respirometer*. United States Environmental Protection Agency. Region I. Boston, USA: Library JFK Federal BLDG,
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (22<sup>nd</sup> ed.). Washington, DC, USA: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).
- Rounds, S. A., & Doyle, M. C. (1997). *Sediment oxygen demand in the Tualatin River Basin, Oregon 1992-96* (Report 97-4103). Oregon, USA: US Geological Survey Water Resources Investigations.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. (1985). *Rates, constants and kinetics formulation in surface water quality modeling* (2<sup>nd</sup> ed.) (PA 600/3-85/040). Athens, USA: Environmental Research Laboratory Office of Research and Development.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. (2001). *Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: Technical Manual* (EPA 823-B-01-002). Washington, DC, USA: Office of Water, United States Environmental Protection Agency.