

DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE OXÍGENO DE LA VEGETACIÓN SUMERGIDA EN LA ZONA DE REPRESAMIENTO DE LA QUEBRADA LA VEGA (ANTIOQUIA), COLOMBIA

DETERMINATION OF OXYGEN DEMAND BY SUBMERGED VEGETATION AT THE DAMMED ZONE OF LA VEGA STREAM (ANTIOQUIA), COLOMBIA

Heazel Grajales^{1, 3}, Néstor J. Aguirre^{1, 2, 4}, Jaime A. Palacio-Baena^{1, 2, 5}

Resumen

En la zona de represamiento de la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia, se midieron in situ entre abril y septiembre del año 2003, la demanda béntica (**DB**) y el consumo de oxígeno por la gramínea *Brachiaria arrecta*. Para la determinación de la DB se midió el oxígeno disuelto cada 30 minutos durante 4 horas en una adaptación de la cámara descrita en 1997 por Rounds y Doyle. Para la determinación de la demanda de oxígeno por *B. arrecta* se utilizó un sistema de cilindros de 10 cm de diámetro y 50 cm de altura, con mediciones del oxígeno disuelto cada hora. La demanda béntica fluctuó entre 0,37 y 1,07 gm²día⁻¹, la demanda de oxígeno por *B. arrecta* entre 5,43 y 8,28 x 10⁻⁴ ggbiomasa⁻¹día⁻¹ y la demanda de oxígeno del agua entre 8,70 y 144,4 x 10⁻⁴ gl⁻¹día⁻¹. Los resultados indican que el crecimiento masivo de *B. arrecta* en el cauce y sus procesos asociados de respiración y descomposición, así como el represamiento del cauce por la construcción del sistema de captación de agua para la estación piscícola de San José del Nus, generan una reducción significativa de las concentraciones de oxígeno disuelto en esta zona. En contraste, la demanda béntica no es importante en esta reducción del oxígeno.

Palabras clave: *Brachiaria arrecta*, consumo de oxígeno disuelto, demanda béntica, demanda de oxígeno en el agua.

Abstract

Between April and September 2003, sediment oxygen demand (**SOD**) and *Brachiaria arrecta* oxygen demand were measured in situ at the dammed zone in La Vega Stream (Antioquia), Colombia. SOD was determined as described by Rounds and Doyle in 1997 with some modifications. During 4 hours, dissolved oxygen was measured every 30 minutes. The oxygen demand of this species was determined using a system of cylinders (10 cm diameter and 50 cm high); dissolved oxygen was measured every hour. SOD, *B. arrecta*'s oxygen demand and water oxygen demand measurements ranged between 0.37-1.07 gm²day⁻¹, 5.43-8.28 x 10⁻⁴ ggbiomass⁻¹day⁻¹, and 8.70-144.4 x 10⁻⁴ gl⁻¹day⁻¹, respectively. Results suggest that the factors responsible of the significant reduction of dissolved oxygen in the water column are massive growth of *B. arrecta* in the riverbed, respiration and decomposition processes of *B. arrecta*, and stream flow reduction. In contrast, SOD is not important on this oxygen reduction.

Keywords: *Brachiaria arrecta*, dissolved oxygen consumption, sediment oxygen demand, water column oxygen demand.

INTRODUCCIÓN

Altas demandas de oxígeno por la respiración en la columna de agua y en los sedimentos pueden generar condiciones anóxicas que favorecen la liberación de nutrientes desde los sedimentos.

Estos procesos pueden afectar la calidad del agua en la interfase agua-sedimento, debido al consumo de oxígeno por la respiración en la capa aeróbica del sedimento y por la oxidación de sustancias provenientes de las zonas anaeróbicas más profundas. La liberación de nutrientes puede

Recibido: abril de 2005; aceptado: mayo de 2006.

¹ Ingeniería Sanitaria y Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA). Sede de Investigación Universitaria (SIU), Universidad de Antioquia. A. A. 1226. Medellín (Antioquia), Colombia.

² Departamento de Ingeniería Sanitaria, Universidad de Antioquia. A. A. 1226. Medellín (Antioquia), Colombia.

Correos electrónicos: ³ <heazelgv@yahoo.com>; ⁴ <naguirre@udea.edu.co>; ⁵ <japalaci@udea.edu.co>.

aumentar la demanda bioquímica de oxígeno y favorecer, eventualmente, el crecimiento de comunidades bióticas que afectan la calidad de las aguas naturales (Fillos y Molof, 1972).

La influencia de la demanda béntica (**DB**) sobre el contenido de oxígeno disuelto y la calidad del agua sobrenadante de ríos y lagos en zonas templadas ha sido estudiada por Inoue et al. (2000), Kerner y Gramm (1995) y, Veenstra y Nolen (1991). La importancia de los depósitos bénticos en los procesos demandantes de oxígeno en lagos templados se debe fundamentalmente, a la formación de grandes depósitos de sestón (Kerner y Gramm, 1995). Burns y Ross (1982), citados por Veenstra y Nolen (1991), concluyeron que la demanda béntica es responsable del consumo del 81% del oxígeno en la cuenca central del lago Erie. El agotamiento del oxígeno es más probable en ambientes lénticos que en aguas corrientes, ya que el movimiento del agua favorece su reoxigenación continua (Black, 2002).

Desde hace varios años opera, en la parte baja de la microcuenca de la quebrada La Vega, la estación piscícola de San José del Nus (Antioquia), Colombia. El cultivo intensivo de peces demanda cantidades importantes de agua con características físicas y químicas apropiadas para asegurar una producción óptima. Durante el año 2002, se midieron concentraciones de oxígeno disuelto tan bajas como 0,9 mg/l en la presa de captación y 1,9 mg/l en el canal de derivación (Aguirre et al., 2004), lo que generó una necesidad de identificar las causas de la reducción del oxígeno en la zona de represamiento de la quebrada La Vega.

Por esta razón, en el presente estudio se determinó la importancia de los procesos demandantes de oxígeno en el agua asociados a la presencia de la graminéa *Brachiaria arrecta* (Hack. ex T. Durand & Schinz) Stent. y de la demanda de oxígeno por parte del sedimento en la zona de represamiento de la quebrada La Vega. Como hipótesis se planteó que la actividad respiratoria y los procesos de descomposición de *B. arrecta* generan una alta demanda

de oxígeno del agua en la zona de represamiento de la quebrada y por lo tanto, la reducción del oxígeno disuelto se relaciona con estos dos factores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La microcuenca de la quebrada La Vega tiene un área aproximada de 6,7 km², pertenece a la cuenca del río Nus y se ubica al Nororiente del departamento de Antioquia (Colombia) en inmediaciones del corregimiento de San José del Nus, entre los 6° 27' y 6° 29' 30" Norte, y 74° 49' 30" y 74° 52' Oeste. Esta microcuenca se considera una unidad hidrológica de pequeña escala y tiene un rango de pisos altitudinales entre los 790 y 1.250 msnm. Los tributarios principales de la quebrada La Vega son las quebradas Piedras y Guaico que nacen cerca de los 1.000 y 1.250 msnm, respectivamente, y ésta desemboca en el río Nus, aguas arriba del casco urbano de la población de San José del Nus (figura 1). En la zona se presentan dos períodos de lluvia al año, durante los meses de abril y mayo y septiembre y octubre, y una época seca de diciembre a febrero. La precipitación media anual es de 2.000 mm/año y la temperatura promedio anual es de 23 °C, con valores mínimos de 19 °C y máximos de 28 °C (Aguirre et al., 2004).

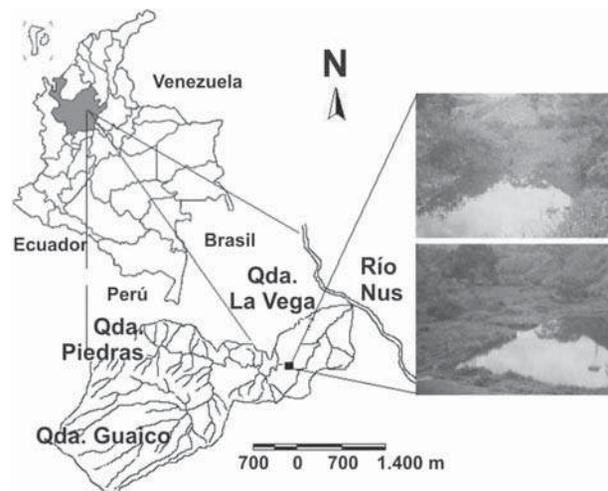


Figura 1. Ubicación de la microcuenca de la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia (■ indica el sitio de muestreo)

En la zona se presentan diferentes tipos de coberturas vegetales y usos del suelo, con predominio de áreas dedicadas a la ganadería, aunque en algunos tramos de la parte alta la vegetación ribereña conserva su naturaleza boscosa. En la parte baja funciona la estación piscícola de San José del Nus que se abastece del agua de la quebrada La Vega, captada en un pequeño embalse conformado por un dique. Esta estructura genera un efecto de remanso hasta aproximadamente 100 m aguas arriba, lo que provoca una reducción en las velocidades del flujo desde 0,36 m/s en la parte media de la zona aluvial hasta 0,10 m/s en la zona de represamiento.

Diseño del muestreo. Con el propósito de cubrir los diferentes periodos climáticos, entre abril y septiembre del año 2003 se efectuaron seis muestreos, para estudiar la DB y la demanda de oxígeno en un sitio ubicado en la zona de represamiento de la quebrada La Vega (figura 1), dentro de un sector de la quebrada invadido por la gramínea *B. arrecta*. Este sitio se seleccionó dada su importancia para la estación piscícola de San José del Nus, al ser este el lugar donde se capta el agua necesaria para el funcionamiento de la misma.

Demanda béntica (DB). Para la determinación de la DB se empleó una adaptación de la cámara descrita por Rounds y Doyle (1997). La cámara que se rediseñó y construyó, está constituida por un cilindro de acrílico transparente de 52 cm de diámetro que aísla un volumen de 46,7 l de agua (figura 2). En la cámara se introdujo una capa de 3 cm de sedimento del sitio y se completó con agua de la quebrada aireada hasta el 100% de saturación, con el fin de asumir una tasa de consumo de oxígeno lineal en el tiempo. La cámara se cubrió con papel aluminio y el agua se recirculó lentamente sobre el sedimento durante cuatro horas, con el empleo de una bomba con un caudal de 0,116 l/s y una velocidad de flujo de 0,18 m/s, seleccionada de acuerdo a las mediciones realizadas por la Universidad de Antioquia en el año 2002 (Aguirre et al., 2004) que en promedio mostraron velocidades de 0,1031 m/s, y a las recomendaciones de la literatura (Bowman

y Delfino, 1980; Hickey, 1988; Mackenthum y Stefan, 1998; Wisniewski, 1991; Wood, 2001). El agua se inyectó en la cámara a través de tres tubos difusores separados, con el fin de garantizar una buena mezcla y evitar la resuspensión del sedimento. En la parte superior de la cámara se instaló una celda Wissenschaftlich Technische Werkstätten (WTW) para medir la variación del oxígeno disuelto y de la temperatura en el tiempo en el agua sobrenadante. Al sedimento utilizado en estas pruebas se le determinó la granulometría por un análisis con mallas, de acuerdo con el procedimiento establecido según las normas ASTM-D421-85 y ASTM-D422-63 (ASTM, 1998).

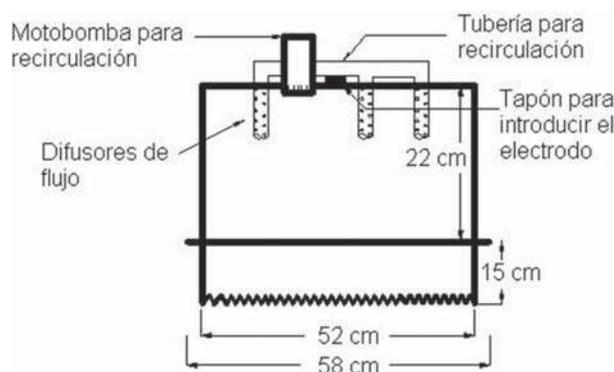


Figura 2. Esquema de la cámara para la medición de la demanda béntica en la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia

Demanda de oxígeno del agua de la quebrada La Vega y de *B. arrecta*. Este experimento incluyó una réplica y una repetición de cuatro tratamientos: 100 g de *B. arrecta* del sitio sin lavar, 100 g de *B. arrecta* lavada, 500 ml del agua de lavado de *B. arrecta* y agua aireada sin filtrar de la quebrada. Para completar el volumen de los cilindros se airearon 70 l de agua de la quebrada, con el fin de garantizar la saturación de oxígeno al inicio del experimento. En dos cilindros de cada tratamiento se simulaban condiciones de oscuridad (figura 3). Los 16 cilindros se mantuvieron sumergidos en la quebrada y en cada uno de ellos se hizo un seguimiento del oxígeno disuelto y la temperatura del agua cada hora durante al menos cuatro horas,

con el empleo de una celda de oxígeno WTW. Como variable respuesta se empleó la pendiente del consumo de oxígeno en el tiempo ($\text{mg l}^{-1} \text{min}^{-1}$) y los factores de estudio evaluados fueron la fecha del experimento y el tipo de tratamiento en condiciones de luz y de sombra.

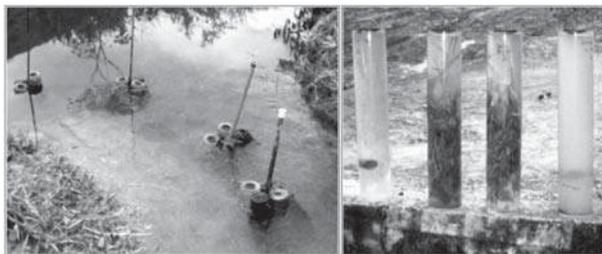


Figura 3. Montaje de cilindros utilizados para medir la demanda de oxígeno por *B. arrecta* en la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia

Análisis de la información. A partir de los valores de oxígeno del agua contenida en la cámara se calculó el consumo de oxígeno en los sedimentos a través del tiempo y se determinó la pendiente de la línea de regresión consumo de oxígeno-tiempo. A esta regresión se le aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para comprobar si la relación lineal obtenida para el consumo de oxígeno de los sedimentos en el tiempo era estadísticamente significativa. La pendiente de la regresión se usó para determinar la demanda béntica por medio de la expresión:

$$DB_T = 1,44 \times \frac{V}{A} \times b$$

donde, (DB_T) es la demanda béntica a una temperatura determinada ($\text{gm}^2 \text{día}^{-1}$); (V) el volumen de agua al interior de la cámara (l); (A) el área de sedimento (m^2); (b) la pendiente de la regresión ($\text{mg l}^{-1} \text{min}^{-1}$) y; 1,44 es un factor de conversión (Murphy y Hicks, 1986; Wood, 2000).

Para la corrección de la DB a una temperatura de 20 °C se verificó que el coeficiente de variación de la temperatura dentro de la cámara en cada experi-

mento fuese inferior al 10%, luego se calculó la media aritmética de los valores de temperatura y se cuantificó la DB_{20} a través de la expresión:

$$DB_{20} = \frac{DB_T}{1,065^{T-20}}$$

donde, (DB_{20}) es la demanda béntica a 20 °C ($\text{gm}^2 \text{día}^{-1}$) y (T) la media aritmética de la temperatura en cada experimento (Wood, 2000).

De acuerdo con la EPA (1985) el consumo de oxígeno en los sedimentos sigue la misma cinética del consumo de oxígeno de la fracción biológica, razón por la cual, se calculó la demanda de oxígeno de *B. arrecta* a través de la ecuación:

$$DOB_T = 1,44 \times \frac{V}{B} \times b$$

donde, (DOB_T) es la demanda de oxígeno de *B. arrecta* ($\text{ggbiomasa}^{-1} \text{día}^{-1}$) a una temperatura determinada; (b) la pendiente de la regresión ($\text{mg l}^{-1} \text{min}^{-1}$); (V) el volumen del cilindro (l); (B) la biomasa húmeda de *B. arrecta* (g) y; 1,44 es un factor de conversión.

Con el fin de calcular la demanda de oxígeno en cada nivel de tratamiento, se procedió de la siguiente forma: a cada tasa de consumo de oxígeno en el tiempo se le restó su correspondiente obtenida en los cilindros con agua saturada.

Para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de tratamiento, tanto en condiciones de luz como de sombra, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal y Wallis (Díaz, 1999).

RESULTADOS

Granulometría del sedimento. Como se infiere del análisis granulométrico (tabla 1) y de la forma similar de las curvas granulométricas (figura 4), el

sedimento en todos los muestreos fue del mismo tipo y estuvo constituido por una arena limosa con un porcentaje apreciable de finos (SM). Esta

similitud implica que las diferencias de DB en el sitio de estudio no son atribuibles a cambios en la granulometría del sedimento.

Tabla 1. Resultados del análisis granulométrico del sedimento de la quebrada La Vega Antioquia, (Colombia) de acuerdo con el Unified Soil Classification System (U. S. C. S.) (ASTM, 1998)

Muestreo (año 2003)	% de sedimento que pasa la malla N.º 200 (0,074 mm)	% de sedimento que pasa la malla N.º 4 (4,76mm)	% de sedimento que pasa la malla N.º 200 después del lavado	Límite líquido	Límite plástico	Clasificación unificada
Abril	31,45 > 50	98,95	40,83 > 12	31,84	25,17	arena limosa
Junio	40,83 > 50	98,39	40,83 > 12	34,08	23,40	arena limosa
Julio	29,70 > 50	99,62	29,70 > 12	39,89	38,95	arena limosa
Septiembre	39,45 > 50	99,10	39,45 > 12	41,71	31,56	arena limosa

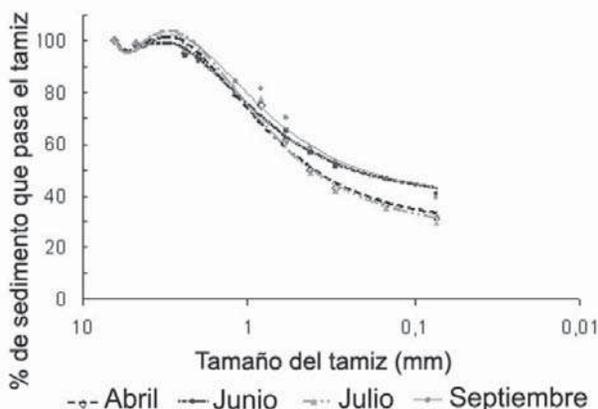


Figura 4. Curvas granulométricas del sedimento de las pruebas de demanda béntica en la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia

Demanda béntica. El comportamiento del consumo de oxígeno por los sedimentos en el tiempo fue similar durante las dos primeras horas en los ensayos de abril y junio, con un valor aproximado de 0,4 mg/l (figura 5). En abril se llegó a un consumo de 0,7 mg/l luego de 2,5 hr y posteriormente se redujo la tasa de consumo. En junio el máximo consumo se alcanzó a las 3,5 hr y también se observó una disminución de la tasa de consumo en la siguiente hora. La tasa de consumo de oxígeno en julio fue menor y al final del experimento sólo se alcanzó un

consumo de 0,4 mg/l. Es de aclarar que en ningún experimento se agotó el oxígeno disuelto en el agua y por el contrario, se mantuvo por encima de los 3,5 mg/l. A pesar de que las bajas tasas de consumo de oxígeno no permitieron establecer diferencias importantes entre estos tres ensayos, se observa que el comportamiento en las dos primeras horas del ensayo de julio fue diferente. En septiembre el consumo de oxígeno superó en aproximadamente 1 mg/l los consumos de los otros meses y no se observó una fase de estabilización. En el ensayo de septiembre tanto la DB_T como la DB_{20} fueron mayores a las de los demás muestreos.

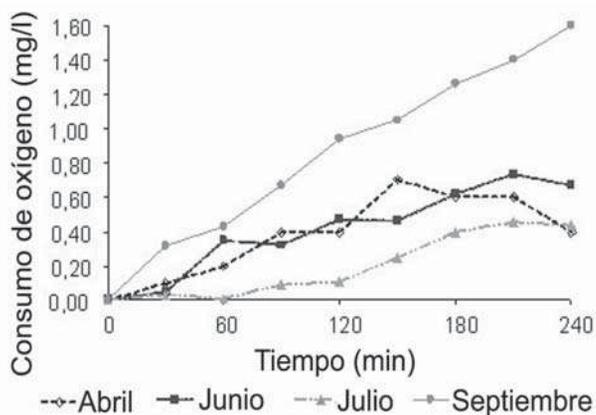


Figura 5. Comportamiento del consumo de oxígeno en el tiempo dentro de la cámara de medición de la demanda béntica en la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia

El coeficiente de correlación (R^2) más bajo se presentó en abril (tabla 2), sin embargo, el valor p del ANOVA de la regresión en todos los muestreos fue menor que 0,01 lo que indica que existió una relación estadísticamente significativa entre el consumo de oxígeno y el tiempo con un nivel de

confianza del 99%. Los valores del coeficiente de variación (CV) de la temperatura fueron bajos y la media aritmética fue similar para todos los muestreos, lo que indica que no existieron variaciones apreciables de la temperatura que pudieran afectar lo procesos de demanda de oxígeno.

Tabla 2. Cálculo de la demanda béntica para cuatro muestreos en la zona de presa de la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia (R^2 = coeficiente de correlación; DB = demanda béntica)

Muestreo (año 2003)	Pendiente	R^2 (%)	p del ANOVA de la regresión	DB_T ($gm^{-2}día^{-1}$)	Coefficiente de variación de la temperatura ($^{\circ}C$)	Media aritmética de temperatura ($^{\circ}C$)	DB_{20} ($gm^{-2}día^{-1}$)
Abril	0,00233	64,54	0,0091	0,63840	2,77%	28,28	0,37900
Junio	0,00300	91,78	0,0000	0,82080	3,23%	30,32	0,42854
Julio	0,00220	90,83	0,0001	0,60192	2,41%	27,81	0,36808
Septiembre	0,00645	97,62	0,0000	1,76472	5,38%	28,01	1,06563

Demanda de oxígeno del agua y de *B. arrecta*.

En la figura 6 se evidencia claramente que la tasa de consumo de oxígeno cuando no hubo disponibilidad de luz fue mayor durante la primera hora y superior en los cilindros con *B. arrecta*. En términos generales, a partir de la segunda hora las tasas de consumo se redujeron gradualmente hasta el final del experimento donde se alcanzaron valores mínimos de oxígeno disuelto cercanos a 1 mg/l. En los tratamientos con pasto el consumo durante la primera hora fue cercano al 200% del observado en los otros dos tratamientos. Las altas tasas de consumo de oxígeno se extendieron hasta la segunda hora y alcanzaron, en los cilindros con pasto lavado, un valor cercano a 7 mg/l y en los cilindros con pasto sin lavar aproximadamente 6 mg/l. Entre la tercera y la sexta hora el consumo en los tratamientos con pasto sin lavar fue cercano a 2 mg/l y en los tratamientos con pasto lavado 1 mg/l. El consumo total de oxígeno en los tratamientos con agua de la quebrada y agua de lavado fue similar y cercano al 50% del de los cilindros con pasto. En los ensayos de junio y julio 17 no se encontró ningún cambio en la tasa de consumo al prolongar el período del experimento por más de seis horas.

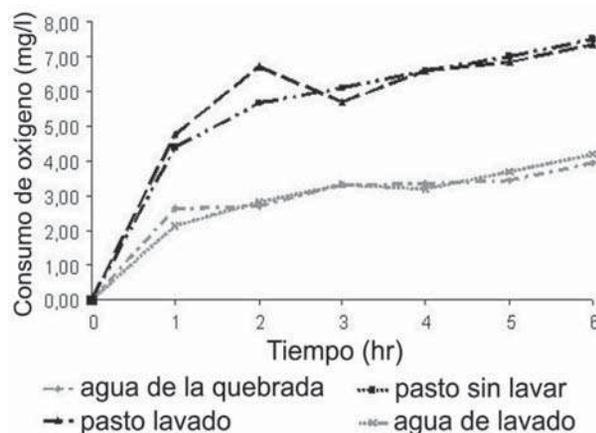


Figura 6. Comportamiento del consumo de oxígeno en el tiempo en los tratamientos sin luz en mayo 29 de 2003 en la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia

Como se observa en la figura 7, durante la primera hora la tasa de consumo neto de oxígeno fue mayor con respecto al resto del período de experimentación en los tratamientos con luz. No obstante, a partir de la segunda hora el consumo neto no superó, en general, los 2 mg/l al final de las seis horas. En este caso el consumo de oxígeno en los experimentos con pasto es menor que en los que no lo tienen, esto se debe a que cuando hay disponibilidad de

luz no sólo hay consumo de oxígeno sino también producción, ya sea por los productores primarios o por el mismo pasto, por lo que el consumo neto implica el oxígeno resultante entre el producido y el consumido. En mayo 28, junio, agosto 27 y septiembre 11 los tratamientos con *B. arrecta* presentaron un balance positivo de producción-consumo, es decir, la producción de oxígeno fue mayor que su consumo.

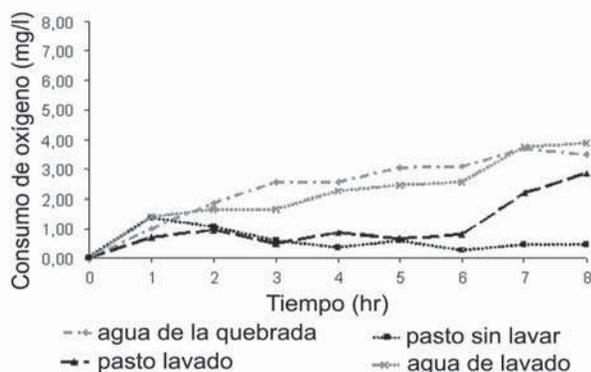


Figura 7. Comportamiento del consumo neto de oxígeno en el tiempo en los tratamientos con luz en junio 12 de 2003 en la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia

Comportamiento de la pendiente de la línea de ajuste para los datos de consumo de oxígeno disuelto en el agua. Para el análisis estadístico de las pendientes de las líneas de regresión consumo de oxígeno en el agua contra el tiempo (tabla 3), se eliminaron las pendientes cuyos valores de p fueron mayores o iguales a 0,05, lo que garantizó un nivel de confianza del ajuste del 95%.

Dado que en la prueba de Kruskal y Wallis se obtuvo un valor p de 0,000041 para el factor tratamiento en los experimentos sin luz y un p de 0,016022 para el factor tiempo en los experimentos con luz, existen diferencias significativas entre sus medianas con un 95% de nivel de confianza. Es decir, cuando los experimentos se realizaron con disponibilidad de luz se presentaron diferencias entre muestreos pero no entre tratamientos, mientras que lo contrario ocurrió cuando no hubo disponibilidad de luz y las diferencias se presentaron entre los tratamientos.

Tabla 3. Pendiente ($\text{mg l}^{-1} \text{min}^{-1}$) del ajuste lineal para el consumo de oxígeno con el tiempo en el experimento de medición de la demanda de oxígeno en la columna de agua de la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia

Fecha (año 2003)	Tratamiento							
	Con luz				Sin luz			
	Agua saturada	Pasto sin lavar	Pasto lavado	Agua de lavado	Agua saturada	Pasto sin lavar	Pasto lavado	Agua de lavado
Mayo 28	0,005191	0,005881	0,004435	0,006982	0,007667	0,019018	0,014845	0,007667
Mayo 28	0,003066	0,004833	0,007137	0,002845	0,007506	0,018113	0,016607	0,016191
Mayo 29	0,006589	0,011750	0,004881	0,010446	0,006821	0,016446	0,016119	0,009167
Mayo 29	0,006482	0,004982	0,006667	0,006941	0,010060	0,017738	0,015018	0,010083
Junio 11	0,007639	0,001746	0,003870	0,007778	0,007024	0,015060	0,013314	0,005913
Junio 11	0,013750	0,006111	0,003631	0,007123	0,007560	0,015337	0,015258	0,008115
Junio 12	0,003968	-0,006925	0,004802	0,003452	0,003948	0,011071	0,010556	0,004583
Junio 12	0,007500	-0,002044	0,004524	0,008810	0,003968	0,012123	0,011706	0,005337
Julio 16	0,012967	0,013633	0,019633	0,008983	0,013200	0,022650	0,026633	0,009933
Julio 16	0,011317	0,025100	0,025283	0,008867	0,009467	0,026383	0,027750	0,011233
Julio 17	0,005827	0,003982	0,003976	0,002292	0,003679	0,015577	0,011661	0,004494
Julio 17	0,005363	0,002673	0,006036	0,002952	0,003458	0,008173	0,009488	0,003232
Agosto 26	0,012167	0,018333	0,020167	0,018500	0,011833	0,020500	0,025167	0,015667
Agosto 26	0,012333	0,018667	0,022167	0,015333	0,013333	0,024167	0,024000	0,016667
Agosto 27	0,003610	-0,005067	0,003757	0,003538	0,001714	0,012619	0,010386	0,001691
Agosto 27	0,000676	0,002419	0,001900	0,001491	0,002495	0,009129	0,008233	0,002367
Septiembre 10	0,008500	0,028333	0,033500	0,014833	0,008833	0,033000	0,032667	0,013333
Septiembre 10	0,007667	0,027500	0,022333	0,013833	0,023167	0,026667	0,021333	0,012833
Septiembre 11	0,003036	0,003691	0,002441	0,008095	0,004185	0,019048	0,017738	0,008333
Septiembre 11	0,004244	0,006548	0,004226	0,007143	0,004702	0,017560	0,016964	0,008810

En la figura 8, se diferencian dos grupos homogéneos de medianas para el factor tiempo en los experimentos con luz, que corresponden de un lado a los muestres de mayo, junio y julio (1, 2 y 3) y, de otro lado, a los ensayos de agosto y septiembre (4 y 5). En forma similar, la figura 9 indica la presencia de dos grupos homogéneos de medianas para el factor tratamientos en los experimentos sin luz, que corresponden a agua saturada y agua de lavado (1 y 4) y a pasto lavado y pasto sin lavar (2 y 3).

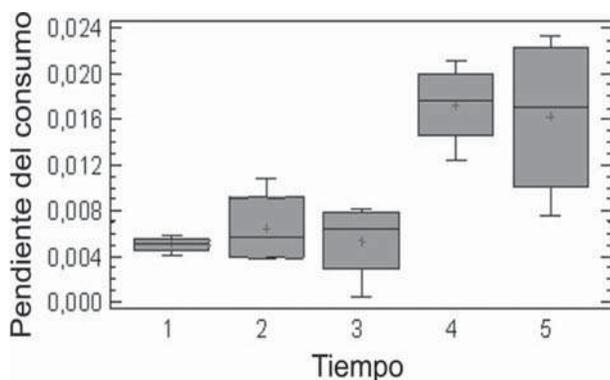


Figura 8. Caja esquemática para el factor tiempo con luz en los experimentos de demanda de oxígeno en la columna de agua en la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia

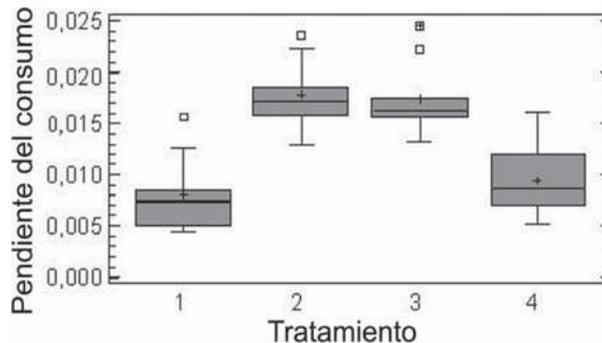


Figura 9. Caja esquemática para el factor tratamiento sin luz en los experimentos de demanda de oxígeno en la columna de agua en la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia

Con el fin de realizar una comparación entre los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4 las demandas de oxígeno (mgdía^{-1}) de cada uno de los experimentos realizados en la zona de represamiento de la quebrada La Vega que permite evidenciar que, las demandas de oxígeno en el agua de la quebrada y en el pasto lavado y sin lavar fueron significativamente superiores a las demandas de los sedimentos y del agua de lavado.

Tabla 4. Demanda de oxígeno (mgdía^{-1}) para cada tratamiento en la quebrada La Vega (Antioquia), Colombia

Muestreo (año 2003)	Factor demandante de oxígeno				
	Sedimento	Agua	Pasto sin lavar	Pasto lavado	Agua de lavado
Mayo		0,05711	0,07127	0,05556	0,02049
Junio	0,00064	0,04455	0,05631	0,05428	0,00650
Julio	0,00047	0,06212	0,08279	0,05455	
Agosto		0,06238	0,07811	0,08865	
Septiembre	0,00137	0,07221	0,07871	0,07024	0,00437

DISCUSIÓN

El valor superior de la DB en el muestreo de septiembre puede atribuirse a las lluvias antes del experimento que generaron probablemente el ingreso y enriquecimiento del sistema con materiales demandantes de oxígeno disuelto para

su degradación. No obstante, este valor se encuentra en el rango de $0,2-1,0 \text{ gm}^{-2}\text{día}^{-1}$ reportado por la EPA (1985) para sedimentos arenosos. Es necesario resaltar que, en términos generales durante los experimentos en el sitio de muestreo los niveles de agua fueron bajos y no superaron los 50 cm, exceptuando septiembre

con niveles cercanos a 1 m. De esta forma, no se evidenció un efecto marcado de las condiciones climáticas sobre el nivel del agua en la quebrada La Vega para los momentos de muestreo. Sin embargo, esta quebrada se caracteriza por un régimen torrencial con cambios rápidos en el nivel del agua como una respuesta a la presencia de lluvias locales.

La reducida información sobre la DB en ambientes lóticos tropicales no permite comparar los resultados del presente estudio con los de otros ambientes con condiciones similares. La DB_{20} en el sitio de presa de la quebrada La Vega es inferior a la reportada por Caldwell y Doyle (1995) en la parte baja del río Willamette ($2,06 \text{ gm}^{-2}\text{día}^{-1}$) y por Rounds y Doyle (1997) en el río Tualatin ($2,2 \text{ gm}^{-2}\text{día}^{-1}$) en Estados Unidos. La microcuenca de la quebrada La Vega se caracteriza por poseer una alta pendiente y un régimen torrencial que favorece un lavado del sustrato, conformado por arenas cuarzosas del Batolito antioqueño, lo que impide la acumulación de materiales demandantes de oxígeno. En consecuencia, la baja DB no refleja la magnitud del ingreso de materiales de origen alóctono, como resultado del nivel de intervención y deterioro de la microcuenca.

A partir de los resultados de la DB, se podría afirmar que los sedimentos de la zona aluvial de la quebrada La Vega no cumplen un papel central en los procesos demandantes de oxígeno, debido al predominio de material inorgánico.

En general, la tasa de consumo de oxígeno en los diferentes tratamientos fue más alta durante la primera hora y posteriormente se estabilizó. Cuando el consumo en la fase inicial no fue alto, el declive posterior del proceso no fue tan importante. Aparentemente, las altas concentraciones iniciales de oxígeno disuelto estimulan un mayor consumo, tal como ha sido reportado para el caso de la demanda béntica por Edberg y Hofsten (1973), Hickey (1988), Inoue et al.

(2000) y Wisniewski (1991). Sin embargo, estos autores no señalan las causas específicas de dicho comportamiento.

Los consumos de oxígeno fueron en general menores en los tratamientos con agua de la quebrada y agua de lavado. Si se asume que con el lavado del pasto se removieron los microorganismos asociados demandantes de oxígeno, se puede concluir que en la zona de represamiento de la quebrada La Vega el pasto es el factor más importante en el comportamiento del oxígeno disuelto en el agua.

La ausencia de diferencias importantes en el consumo de oxígeno por parte del agua de la quebrada sin filtrar y del agua de lavado de *B. arrecta*, no significa que el pasto no constituya un sustrato importante para los microorganismos. Es probable que el volumen de agua de lavado utilizado afecte significativamente la sensibilidad del método para el período de exposición y no permita detectar diferencias entre estos dos tratamientos. En consecuencia, sería recomendable realizar estudios detallados sobre la composición y el crecimiento de la microbiota asociada a esta gramínea en la quebrada La Vega.

Entre los factores determinantes en la disminución del oxígeno disuelto en la quebrada La Vega, se encuentra el descenso de la velocidad del flujo desde $0,36 \text{ m/s}$ en la parte media de la zona aluvial hasta $0,10 \text{ m/s}$ en la zona de represamiento, aproximadamente 100 m aguas arriba del sistema de captación, lo que reduce la capacidad de reaeración del agua. De otro lado, *B. arrecta* consume oxígeno y adicionalmente, constituye un sustrato adecuado para el desarrollo de microorganismos demandantes de oxígeno. Los resultados del estudio indican que el crecimiento masivo de *B. arrecta* es el principal responsable de las reducciones en las concentraciones de oxígeno disuelto en la zona de represamiento de la quebrada La Vega.

Estos resultados evidencian que durante la fase oscura del ciclo diario se podrían alcanzar niveles críticos de oxígeno disuelto para la vida acuática en el sector de represamiento de la quebrada y en consecuencia para el cultivo de peces. Probablemente, el ingreso de agua con niveles de saturación de oxígeno bajos a los estanques piscícolas con una alta biomasa, genera estrés fisiológico en los peces y afecta la conversión alimenticia de éstos.

REFERENCIAS

- Aguirre NJ, Palacio JA, Wills A.** 2004. *Caracterización de los principales aspectos fisicobióticos de la cuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque, Antioquia.* Imprenta Universidad de Antioquia. Medellín (Antioquia), Colombia.
- ASTM (American Society of Testing and Materials).** 1998. *D2487-00 Standard classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System).* ASTM International. Pennsylvania, E. U. A.
- Black J.** 2002. *Microbiology: principles and explorations.* John Wiley and Sons, Inc. Nueva York (NY), E. U. A.
- Bowman G, Delfino J.** 1980. Sediment oxygen demand techniques: a review and comparison of laboratory and *in situ* systems. *Water Research*, 14:491-499.
- Burns NM, Ross C.** 1972. Oxygen-nutrient relationships within the central basin of Lake Erie. Pp. 85-119. *En: Allen H, Kramer JR (eds.). Project hypo: Canada-Center for Inland Waters.* Paper N.º 6, Technical report TS-05-71-208-24. U. S. Environmental Protection Agency. Washington, D. C., E. U. A.
- Caldwell J, Doyle MC.** 1995. Sediment oxygen demand in the Lower Willamette River, Oregon, 1994. Pp. 1-14. *En: U. S. Geological Survey (eds.). USGS Water-Resources Investigations Report 95-4196.* Oregon, E. U. A.
- Díaz A.** 1999. *Diseño estadístico de experimentos.* Universidad de Antioquia. Medellín (Antioquia), Colombia.
- Edberg N, Hofsten BV.** 1973. Oxygen uptake of bottom sediments studied *in situ* and in the laboratory. *Water Research*, 7:219-228.
- EPA (Environmental Protection Agency United States).** 1985. *Rates, constants and kinetics formulations in surface water quality modeling.* Georgia, E. U. A.
- Fillos J, Molof A.** 1972. Effect of benthic deposits on oxygen and nutrient economy of flowing waters. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 44:644-662.
- Hickey C.** 1988. Benthic chamber for use in rivers: testing against oxygen mass balances. *Journal of Environmental Engineering*, 117:828-845.
- Inoue T, Nakamura Y, Adachi Y.** 2000. Non-steady variations of SOD and phosphate release rate due to changes in the quality of the overlying water. *Water Science and Technology*, 42:265-272.
- Kerner M, Gramm H.** 1995. Changes in oxygen consumption at the sediment-water interface formed by settling seston from the Elbe estuary. *Limnology and Oceanography*, 40:544-555.
- Mackenthun A, Stefan H.** 1998. Effect of flow velocity on sediment oxygen demand: experiments. *Journal of Environmental Engineering*, 124(3):222-230.
- Murphy PJ, Hicks DB.** 1986. In-situ method for measuring sediment oxygen demand. Pp. 307-322. *En: Hatcher KJ (ed.). Sediment oxygen demand: processes, modeling, and measurement.* Institute of Natural Resources, University of Georgia. Athens (GA), E. U. A.
- Rounds SA, Doyle MC.** 1997. *Sediment oxygen demand in the Tualatin River basin, Oregon, 1992-96.* Water-Resources Investigations Report 97-4103. U. S.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los integrantes del Grupo GAIA que participaron en los muestreos, especialmente a los jóvenes investigadores. A los profesores Nora Villegas y Álvaro Wills por sus comentarios y sugerencias. Al profesor Carlos Mario Marín y todo el personal de la estación piscícola San José del Nus de la Universidad de Antioquia por su amplia colaboración.

Geological Survey and Unified Sewerage Agency of Washington County, Oregon. Oregon, E. U. A.

Veenstra J, Nolen S. 1991. *In situ* sediment oxygen demand in five southwestern U. S. lakes. *Water Research*, 25:351-354.

Wisniewski R. 1991. The influence of resuspension on sediment oxygen demand (SOD) in the lakes of

different morphology and trophy. *Verhein Internationale Verein Limnologie*, 24:898-900.

Wood T. 2001. *Sediment oxygen demand in Upper Klamath and Agency Lakes, Oregon, 1999*. U. S. Geological Survey and Water-Resources Investigations. Report 01-4080. Oregon, E. U. A.

