

Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México

• Hipólito Muñoz* • Saturnino Orozco • Andrea Vera • Juan Suárez •
• Edelmira García • Mercedes Neria • José Jiménez •
Universidad Autónoma de Tlaxcala, México

*Autor de correspondencia

Resumen

Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., & Jiménez, J. (septiembre-octubre, 2015). Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(5), 59-74.

La concentración de oxígeno disuelto (OD) en el río Zahuapan ha disminuido a través de los años debido a la contaminación. El objetivo de este trabajo es conocer la relación del OD con la precipitación pluvial y temperatura. Se realizaron mediciones de OD en dos puntos (PM1 y PM2) del río. Se utilizó la prueba de Mann-Whitney para comparar las concentraciones entre los puntos de medición y entre las de la temporada de sequía con las de lluvia. Se encontró relación entre el OD y la temperatura de la corriente. El OD fue mayor en PM1 (corriente arriba), comparado con PM2 y entre ambos hubo diferencias significativas. Antes y en la temporada de lluvia, los valores de OD tuvieron tendencias atípicas; después de las lluvias, las tendencias fueron comparables con las reportadas en la literatura. Se obtuvieron relaciones significativas entre las varianzas y promedios del OD con la lluvia acumulada. Los valores de OD de la temporada de lluvias fueron mayores y significativamente diferentes comparadas con las de sequía. Se concluye que el OD está relacionado con la temperatura y que las precipitaciones pluviales afectaron de manera positiva la concentración de OD en el río.

Palabras clave: oxígeno disuelto, temperatura, lluvias, río Zahuapan.

Abstract

Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., & Jiménez, J. (September-October, 2015). Relationship between Dissolved Oxygen, Rainfall and Temperature: Zahuapan River, Tlaxcala, Mexico. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 6(5), 59-74.

The concentration of dissolved oxygen (DO) in the Zahuapan River has decreased over the years due to pollution. The objective of the present work is to identify how DO is related to rainfall and temperature. Measurements of DO were taken at two points (MP1 and MP2) in the river. The Mann-Whitney test was used to compare concentrations at the measurement points and the measurements obtained during the dry and rainy seasons. A relationship was found between DO and the temperature of the river. DO was higher at MP1 (upstream) than at MP2 and significant differences were found between both. Before and during the rainy season, DO values had atypical trends while after the rainy period they were comparable to those reported by the literature. Significant relationships were found between variances and average DO and accumulated rainfall. DO values during the rainy season were higher than those during the dry period and significantly different. It is concluded that DO is related to temperature and that rainfall positively affects DO concentrations in the river.

Keywords: Dissolved oxygen, temperature, rainfall, Zahuapan River.

Introducción

Las actividades humanas han afectado a los ríos en numerosas formas, por ejemplo, a través de deforestación, urbanización, agricultura, canales de drenaje, descargas de contaminantes y regulación de flujos (presas, diques, etc.) (Bellos & Sawidis,

2005). Es grave la contaminación de los ríos por las descargas de aguas residuales crudas en las economías en desarrollo. Los constituyentes convencionales, no convencionales y emergentes de las aguas residuales municipales crudas (Metcalf & Eddy Inc., 2003), al ser vertidos a los cuerpos de agua, disminuyen la concentración de oxígeno

Recibido: 20/08/2013
Aceptado: 01/05/2015

disuelto (OD). Bajo condiciones naturales, los ríos deben estar por lo menos 80% saturados de OD, con variaciones cíclicas diurnas, aun en los cuerpos de agua prístinos debido a las tasas de fotosíntesis (Riđanović, Riđanović, Jurica, & Spasojević, 2010). La producción primaria, la respiración de la comunidad y las tasas de aireación controlan los cambios de concentración del OD con respecto al tiempo (Riley & Dodds, 2013). Estos factores, a su vez, son influenciados por la temperatura (Wehmeyer & Wagner, 2011), profundidad del río y turbiedad (Shields & Knight, 2012), disponibilidad de luz y actividad autotrófica (Bernot & Wilson, 2012), condiciones hidrométricas (He, Chu, Ryan, Valeo, & Zaitlin, 2011), elevados niveles de materia orgánica (Guzmán *et al.*, 2011), turbulencia y volumen de mezclado (Mulholland, Houser, & Maloney, 2005), tipo de sustrato o lecho del río (Huggins & Anderson, 2005), y escurrimientos provocados por las precipitaciones pluviales (Graves, Wan, & Fike, 2004). En relación con el efecto de las lluvias sobre el OD, se ha reportado que tienen un efecto positivo (Barceló, López, Solís, Domínguez, & Gómez, 2012) y, por otro lado, que no hay relación aparente entre estas variables (Wehmeyer & Wagner, 2011).

La concentración de OD en el río Zahuapan ha venido disminuyendo a través de los años. En la década de 1970 aún era posible nadar en el río Zahuapan (experiencia propia de un autor de este trabajo), cuya concentración de OD en 1978, reportada en un documento publicado por Sedue (1985), fue de 6 a 8 mg l⁻¹. En México, la legislación establece en los criterios ecológicos de calidad de agua (CE-CCA-001-89) como límite mínimo 5 mg l⁻¹ para la protección de la vida acuática tanto en agua dulce como en agua marina (Sedue, 1989). Con la implementación en el estado de Tlaxcala de manera generalizada del servicio de drenaje en los principales centros de población, en la década de 1980 se iniciaron las descargas de aguas residuales sin tratamiento a barrancas o directamente al río. Esto tuvo un efecto negativo en la concentración del OD, como lo muestran los datos publicados por la Coordinación General de Ecología del

Gobierno del Estado de Tlaxcala (CGE, 1997), con los cuales se obtiene un promedio de OD para 1997 igual a 3.03 mg l⁻¹. Para el año 2007, las concentraciones disminuyeron más, alcanzando un valor promedio de 2.97 mg l⁻¹ (Muñoz *et al.*, 2012). Aunque en la parte sur del río las concentraciones pueden ser permanentemente iguales a cero durante todo el año, en 2012 la concentración promedio de OD disminuyó aún más, como lo demuestran los datos publicados en la página web de la Comisión Estatal del Agua de Tlaxcala (CEAT, 2012), los cuales arrojaron un valor de 2.5 mg l⁻¹. Sin embargo, aunque el OD es un indicador clave de la calidad de agua de un río, porque el OD influye en casi todos los procesos químicos y biológicos en los cuerpos de agua (Wenner, Sanger, Arendt, Holland, & Chen, 2004), hasta ahora sólo se han reportado concentraciones de OD de muestras instantáneas para el río Zahuapan. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo es contribuir con información sobre las variaciones de concentración del OD y la relación de esta variable con la temperatura ambiental y precipitación pluvial.

Metodología

Descripción del área de estudio

El río Zahuapan se forma con los escurrimientos, manantiales y descargas de agua residual que se generan en la subcuenca, cuyo nombre, dado por el Instituto de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2010), es Subcuenca RH18Ai-R. Zahuapan. La Subcuenca se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca del río Balsas, que comprende la Región Hidrológica 18. La cuenca del río Balsas está conformada por dos grandes provincias fisiográficas: la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico, cuya evolución, a través de los tiempos geológicos, dio lugar a una amplia variedad de características orográficas, climáticas e hidrológicas. Esto propició la formación y desarrollo de suelos de distintas propiedades, en una diferenciada gama de condiciones que, a su vez, han permitido una rica diversidad de flora y fauna (Conagua, 2010). En el Eje Neo-

volcánico se encuentra la subcuenca RH18Ai-R. Zahuapan. La subcuenca tiene una superficie calculada de 1631.6 km² (INEGI, 2010). En el norte de la subcuenca nace el río Zahuapan, entre los límites de los estados de Tlaxcala y Puebla (figura 1). La presa de Atlangatepec es la obra hidráulica más importante que interrumpe el flujo del río. Del nacimiento a la confluencia con el río Atoyac tiene una longitud aproximada de 98 km. La dirección de la corriente es de norte a sur y tiene una pendiente media de 0.011. La anchura y profundidad del río es variable a lo largo de su trayectoria. La precipitación media anual es de aproximadamente 700 mm. En el norte de la subcuenca, la actividad económica predominante es la agricultura de temporal; en el sur hay una combinación de actividades agrícola (de riego y de temporal) e industrial. La población está concentrada en el centro-sur de la subcuenca, con densidades poblacionales en algunas áreas urbanas mayores de 1 000 hab km⁻².

Recopilación y análisis de información

Se realizaron 16 mediciones diurnas de OD en dos puntos del río Zahuapan (figura 1). El punto 1 (PM1) se ubica corriente arriba, a una distancia de 1 968 metros del punto 2 (PM2), corriente abajo. El periodo de medición inició el 16 de febrero de 2012 y culminó el 29 de enero de 2013. Se seleccionaron días de las temporadas de sequía y lluvia, de tal manera que las mediciones incluyeran los siete días de la semana. Las temporadas de sequía y lluvia se definieron con base en los boletines que emitió la Comisión Nacional del Agua (Conagua) para el inicio y fin de la temporada de huracanes (Conagua, 2012). Las lecturas se realizaron en la orilla del río. Las mediciones en la orilla pueden considerarse representativas de toda la sección transversal, dado que el lugar donde se instalaron los electrodos tiene buen mezclado por su poca profundidad, la cual no es mayor de 50 cm. Se registraron las concentraciones de OD,

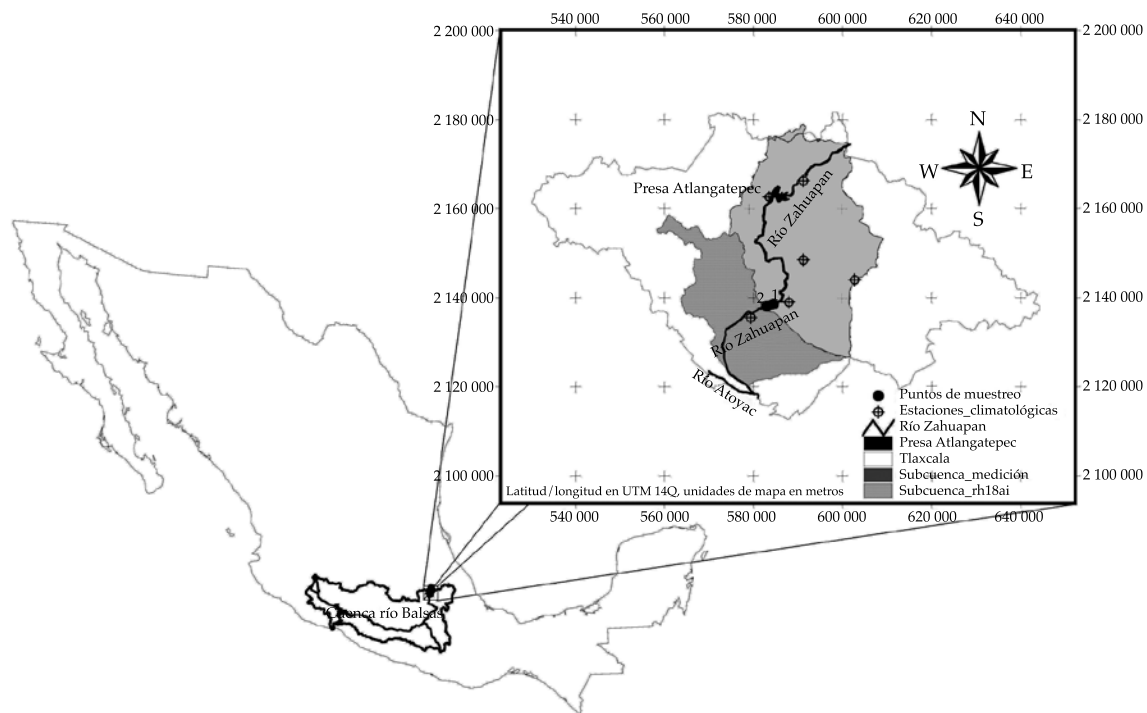


Figura 1. Área de estudio en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México.

temperatura de la corriente del agua (Tagua) y presión atmosférica. Se utilizaron electrodos nuevos de luminiscencia de la marca Hach®, facilitados por la empresa Aquatec-México, S.A. de R.L., los cuales se calibraron según las especificaciones del fabricante. Los registros se realizaron cada cinco minutos. El electrodo permaneció sumergido en la corriente del río durante el tiempo de cada día de medición. En la mayoría de las mediciones, el tiempo fue de ocho horas. El porcentaje de saturación de OD (%ODsat) se calculó con la ecuación $\%ODsat = (OD/ODsat) \times 100$, donde ODsat es el OD a saturación, el cual fue calculado con base en Master (2008). Se calcularon el promedio, mínimo, máximo, varianza, Kurtosis y Percentil CCA, este último se utiliza en este trabajo como indicador del porcentaje de datos menores a 5 mg l⁻¹ de OD, el cual es el límite mínimo de OD en los cuerpos de agua establecido en los criterios CE-CCA-001/89 (Sedue, 1989). Cuando el valor mínimo de los datos es mayor que 5 mg l⁻¹, significa que hay 0% de datos menores a este límite o el percentil CCA es igual a cero, lo cual implica que el río tuvo una concentración de OD que cumplió con el criterio ecológico durante el tiempo de medición. Por otro lado, cuando el valor máximo es menor a 5 mg l⁻¹, implica que 100% de los datos registrados en ese día de medición fue menor a este límite o el percentil CCA es igual a 100. Todos los análisis estadísticos y las gráficas se realizaron con el programa *Statistica*, versión 8.0 (Statsoft, Inc., 2007). Se usaron coeficientes de correlación para conocer la relación de las concentraciones de OD entre PM1 y PM2, entre OD y Tagua, entre OD y precipitación pluvial (PP) registrada en cinco estaciones climatológicas (EC) y en el observatorio climatológico (OC). Las correlaciones se realizaron empleando tanto el promedio y varianza del OD de cada medición con la PP diaria (PPdiaria) y acumulada (PPacu). Se elaboraron matrices de correlaciones de estas variables de 1 a 20 días antes del día de la medición del OD. Los datos de PP fueron proporcionados por la Conagua (Conagua, 2013). La significancia del valor de r se estimó con la prueba de Pearson.

Para comparar estadísticamente las concentraciones de OD entre PM1 y PM2, y entre OD de la temporada de lluvia con la de sequía, se utilizó la prueba de Mann-Whitney.

Resultados

a) Temperatura de la corriente-temperatura ambiente-OD

El resultado de la estadística básica, que consiste en el promedio, mínimo, máximo, varianza, Kurtosis y Percentil CCE de la temperatura del agua de la corriente del río (Tagua) y del OD se encuentran en el cuadro 1. Se registró una temperatura mínima del agua del río igual a 11.2 °C y máxima de 23.4 °C, la primera registrada en invierno y la segunda en verano. Las temperaturas promedio de la corriente del río en los dos puntos de medición y la temperatura ambiente tuvieron una misma tendencia (figura 2), aunque en PM2 (Tagua2) resultó ligeramente mayor que en PM1 (Tagua1) en aproximadamente un grado Celsius. Los promedios de las temperaturas de la corriente resultaron ser mayores que las del ambiente. En los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 (Sedue, 1989) se establece que el nivel máximo de temperatura para la protección de la vida acuática en los cuerpos de agua es igual a la temperatura en condiciones naturales +1.5 grados Celsius. En PM2 se sobrepasó este límite en cuatro ocasiones y en PM1 dos veces. En tres días de registro, dos en PM1 y uno en PM2, las temperaturas del agua fueron menores que las del ambiente. La varianza varió entre 0.69 y 13.54 en PM1, y entre 0.40 a 10.34 en PM2. En todas las mediciones de los dos puntos se obtuvieron valores negativos del coeficiente de Kurtosis de Fischer, lo cual indica que la distribución de los datos es de la forma platicúrtica, es decir, los datos tienen una distribución menos apuntada que la normal.

En el cuadro 2 se encuentran los resultados de los coeficientes de correlación r de Pearson entre OD y Tagua. En todas las mediciones se obtuvieron coeficientes significativos que muestran buena relación entre estas variables.

Cuadro 1. Estadística básica de la temperatura y oxígeno disuelto medidos en el río Zahuapan (las celdas sombreadas indican temporada de lluvias, las otras sequía).

Fecha		Temperatura del agua de la corriente						Oxígeno disuelto en la corriente					
		N	Promedio	Mínimo	Máximo	Varianza	Kurtosis	Promedio	Mínimo	Máximo	Varianza	Kurtosis	Percentil CCA
Jue. 16. feb. 2012	P U N T O	36	17.7	16.3	19.0	0.7	-1.3	2.83	2.60	3.09	0.02	-1.5	100
Vie. 16. mar. 2012		47	19.4	16.1	22.4	3.8	-1.3	3.78	2.20	4.34	0.30	2.2	100
Mar. 03. abr. 2012		60	17.5	13.0	21.8	7.8	-1.3	3.26	2.19	4.38	0.46	-1.3	100
Mié. 16. may. 2012		138	20.0	15.3	23.1	7.1	-1.1	3.11	1.04	4.20	0.96	-1.4	100
Sáb. 16. jun. 2012		99	17.7	16.3	19.8	1.8	-1.5	3.74	3.15	4.43	0.06	0.2	100
Jue. 28. jun. 2012	D E	73	19.0	17.0	22.9	3.1	-1.1	5.77	5.24	6.42	0.10	-0.8	0
Vie. 20. jul. 2012		97	18.4	15.7	21.3	2.5	-0.8	5.98	5.34	6.95	0.23	-0.9	0
Dom. 12. ago. 2012		93	16.9	16.0	18.6	0.8	-1.1	6.66	6.13	7.06	0.08	-1.2	0
Lun. 10. sep. 2012		97	19.6	16.0	22.5	4.1	-1.1	5.35	4.46	5.86	0.22	-1.2	29
Mar. 02. oct. 2012		98	19.3	15.4	22.1	5.4	-1.3	5.40	4.51	5.90	0.17	-0.7	15
Mié. 10. oct. 2012	C I Ó	98	16.6	13.4	19.5	3.8	-1.4	6.76	6.21	7.11	0.08	-1.0	0
Sáb. 13. oct. 2012		98	18.9	14.1	22.2	8.2	-1.3	6.22	5.38	6.92	0.26	-1.4	0
Dom. 18. nov. 2012		95	18.0	12.3	22.2	13.5	-1.5	5.72	4.56	6.34	0.26	-0.1	13
Lun. 26. nov. 2012		98	16.6	11.2	21.2	13.5	-1.6	7.43	4.75	8.48	1.46	-0.2	8
Lun. 17. dic. 2012		65	14.7	11.3	19.8	8.9	-1.5	6.31	4.34	7.56	1.36	-1.3	22
Mar. 29. ene. 2013	1	97	16.0	11.2	20.3	12.0	-1.6	5.80	3.50	6.81	1.34	-0.6	25
Jue. 16. feb. 2012	P U N T O	24	18.4	17.2	19.4	0.4	-0.8	1.26	1.05	1.40	0.01	-1.2	100
Vie. 16. mar. 2012		36	20.3	17.1	23.2	3.8	-1.2	4.15	3.64	4.40	0.06	-0.1	100
Mar. 03. abr. 2012		44	18.6	14.1	22.5	7.1	-1.3	3.72	2.72	4.57	0.17	0.8	100
Mié. 16. may. 2012		129	21.0	15.2	24.5	9.4	-1.0	2.86	0.00	4.35	2.17	-1.1	100
Sáb. 16. jun. 2012		86	17.8	16.2	20.1	2.1	-1.5	3.25	2.58	3.79	0.09	-0.2	100
Jue. 28. jun. 2012	D E	66	19.5	17.0	23.4	4.2	-1.2	4.88	4.07	5.72	0.24	-1.0	63
Vie. 20. jul. 2012		89	19.0	15.8	22.3	3.1	-0.7	5.35	4.38	6.53	0.40	-1.1	38
Dom. 12. ago. 2012		95	17.5	16.1	19.2	1.2	-1.6	5.86	5.19	6.68	0.24	-1.3	0
Lun. 10. sep. 2012		89	20.1	15.9	23.0	5.4	-1.3	4.66	2.47	5.61	1.05	-0.5	44
Mar. 02. oct. 2012		87	19.3	15.5	22.1	5.6	-1.5	3.60	2.96	4.22	0.19	-1.6	100
Mié. 10. oct. 2012	C I Ó	84	17.0	13.8	19.3	3.3	-1.4	6.07	5.29	6.52	0.13	-1.4	0
Sáb. 13. oct. 2012		91	18.8	14.0	22.4	8.5	-1.4	5.09	3.74	6.27	0.74	-1.6	46
Dom. 18. nov. 2012		90	17.4	12.5	21.4	10.3	-1.5	3.31	1.71	4.44	0.71	-1.2	100
Lun. 26. nov. 2012		91	16.2	11.3	20.4	10.3	-1.5	5.22	2.53	6.30	1.09	0.3	35
Lun. 17. dic. 2012		57	14.4	11.2	18.6	6.0	-1.3	4.36	2.26	5.43	1.14	-1.0	58
Mar. 29. ene. 2013	2	87	15.7	11.1	20.2	10.6	-1.5	3.20	1.52	4.18	0.84	-1.0	100

Resultaron mayor número de coeficientes de correlación con signo negativo (72%). Los coeficientes con signo positivo se obtuvieron en las mediciones realizadas en marzo, junio, noviembre, diciembre y enero. Los coeficientes más cercanos a 1 o -1 se obtuvieron en la relación Tagua:OD1. Se observó una variación estacional de estos coeficientes. En la época de lluvias, la

relación entre Tagua y OD resultó tener valores de r cercanos a -1.

b) Oxígeno disuelto

El promedio de las 16 mediciones fue igual a 5.26 mg l^{-1} en PM1 (73.7% del valor de saturación de oxígeno disuelto, OD_{sat}) y 4.18 mg l^{-1} en PM2

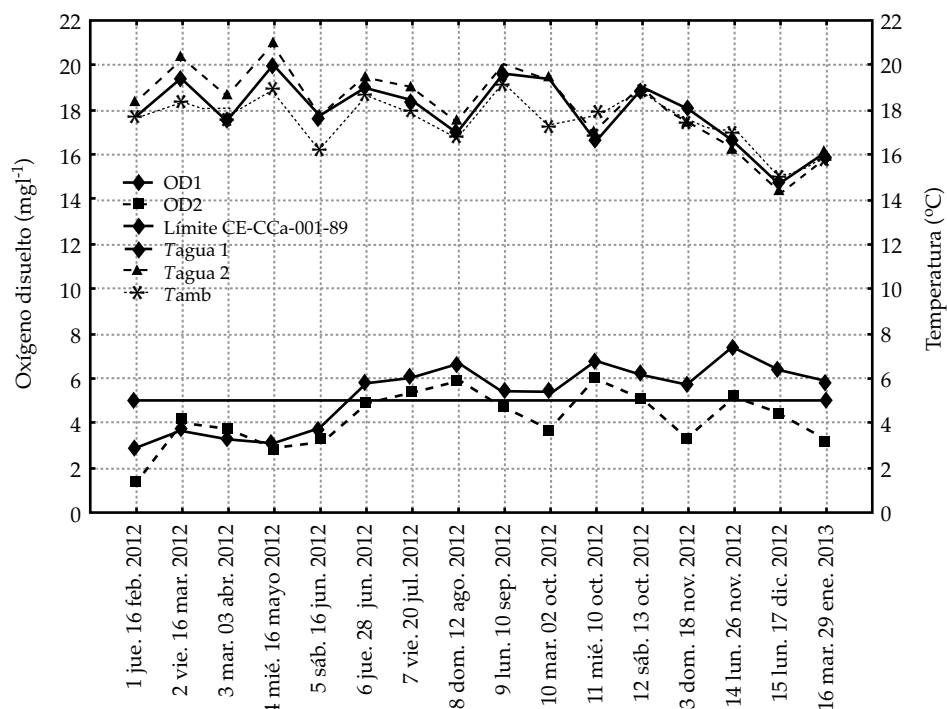


Figura 2. Concentraciones de oxígeno disuelto (OD), temperatura de la corriente del río Zahuapan (Tagua) y temperatura ambiente (Tamb), por fechas de medición.

Cuadro 2. Valores de r de la relaciones temperatura de agua-OD en la corriente del RZ, entre los puntos de medición OD1:OD2 y porcentaje de saturación (las celdas sombreadas indican temporada de lluvias; las otras, de sequía).

Fecha	Valores de r			% saturación	
	Tagua: OD1	Tagua: OD2	OD1: OD2	ODsat1	ODsat2
1. Jue. 16 feb. 2012	-0.902*	-0.855*	0.769*	38.3	17.4
2. Vie. 16 mar. 2012	-0.875*	0.777*	-0.506*	53.6	60.6
3. Mar. 03 abr. 2012	-0.957*	-0.405*	0.299	43.9	52.0
4. Mié. 16 may. 2012	-0.695*	-0.422*	0.741*	44.5	41.9
5. Sáb. 16 jun. 2012	-0.366*	0.246*	-0.577*	51.1	44.6
6. Jue. 28 jun. 2012	-0.974*	-0.958*	0.980*	81.1	69.0
7. Vie. 20 jul. 2012	-0.940*	-0.960*	0.988*	82.7	74.8
8. Dom. 12 ago. 2012	-0.980*	-0.970*	0.991*	89.1	79.4
9. Lun. 10 sep. 2012	-0.600*	-0.616*	0.944*	76.5	67.0
10. Mar. 02 oct. 2012	-0.850*	-0.968*	0.837*	76.6	50.7
11. Mié. 10 oct. 2012	-0.953*	-0.941*	0.970*	89.7	81.1
12. Sáb. 13 oct. 2012	-0.952*	-0.982*	0.986*	87.1	70.5
13. Dom. 18 nov. 2012	0.363*	-0.223*	0.861*	79.0	44.5
14. Lun. 26 nov. 2012	0.833*	0.518*	0.920*	100.1	69.4
15. Lun. 17 dic. 2012	0.920*	0.800*	0.970*	81.2	55.4
16. Mar. 29 ene. 2013	0.889*	0.581*	0.867*	77.3	42.1

*Significativos a $p < 0.05$.

(59.1% ODSat). Las concentraciones promedio de OD por día de medición se encontraron entre 2.83 mg l^{-1} (38.3% ODSat) y 7.43 mg l^{-1} (110.2 % ODSat) en PM1, y entre 1.26 mg l^{-1} (17.4 % ODSat) y 6.07 mg l^{-1} (81.2% ODSat) en PM2 (cuadro 1). Las concentraciones promedio en PM1 resultaron mayores a los de PM2, exceptuando las mediciones realizadas en marzo y abril. Con la prueba de Mann-Whitney se obtuvo que las concentraciones de OD de PM1 presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en relación con los de PM2. Las diferencias de concentración entre los dos puntos de medición se encontraron entre 2.6 y 0.25 mg l^{-1} .

Las concentraciones promedio en PM1 y en PM2 fueron mayores al límite de 5 mg l^{-1} en once y cinco fechas de medición, respectivamente (figura 2). Este límite está establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 (Sedue, 1989) como el nivel mínimo de OD que debe haber en los cuerpos de agua para la protección de la vida acuática. Los valores mínimos por día de medición se encontraron en el intervalo de 1.04 mg l^{-1} (16.1% ODSat) a 6.21 mg l^{-1} (84.6% ODSat) en PM1 y de 0 (0% ODSat) a 5.29 mg l^{-1} (75.2% ODSat) en PM2. Los valores máximos por día de medición estuvieron entre 3.09 mg l^{-1} (39.8% ODSat) a 8.48 mg l^{-1} (125.1% ODSat) en PM1 y de 1.4 mg l^{-1} (18.9% ODSat) a 6.68 mg l^{-1} (87.4% ODSat) en PM2. Las varianzas tuvieron valores de 0.02 a 1.46 mg l^{-1} , en PM1, y de 0.01 a 1.14 mg l^{-1} en PM2. Exceptuando dos días de medición, en todos los demás se obtuvieron valores negativos de los coeficientes de Kurtosis de Fischer. Un valor negativo del coeficiente de Kurtosis indica que la distribución de los datos es aplanada, comparado con la distribución normal. En el cuadro 1 se observa que los valores del Percentil CCA igual a 100 se obtuvieron en la época de sequía, cinco de ellas en PM1 y ocho en PM2.

En PM1, los promedios de %ODSat presentaron una tendencia a aumentar con el transcurrir de los meses (cuadro 2), en el cual dicha tendencia ocurrió de la medición del 16 de febrero hasta la del 26 de noviembre. En las mediciones del 16 de marzo y 3 de abril, el porcentaje de

ODSat fue mayor en PM2; en las demás mediciones, %ODSat fue mayor en PM1.

c) Relación del OD con la hora del día

La figura 3 muestra las tendencias de los datos de las concentraciones del OD con respecto a la hora del día. Se observaron dos tipos de tendencia. En las doce mediciones realizadas entre el 16 de febrero y el 13 de octubre de 2012, las concentraciones del OD en la corriente del río presentaron una tendencia decreciente, que fueron mayores en la mañana al inicio de la medición y disminuyeron con el transcurso del día. En las últimas cuatro mediciones realizadas después de la época de lluvias, entre el 18 de noviembre y 29 de enero de 2013, las concentraciones del OD en la corriente del río tuvieron una tendencia creciente y luego decreciente. En las mañanas, las concentraciones fueron menores, alcanzaron un valor máximo y luego tendieron a disminuir. En la figura 3, las tendencias muestran que las mediciones realizadas del 28 de junio al 29 de enero, los valores de OD cruzaron el límite de 5 mg l^{-1} a diferente hora del día. En PM2 se registró el mayor número de veces en que los niveles de OD fueron menores que este límite. Incluso en este punto de medición, las mediciones del 2 de octubre, 18 de noviembre y 29 de enero estuvieron por debajo del límite de 5 mg l^{-1} durante el tiempo en que se realizaron las mediciones.

En PM1, las concentraciones de OD realizadas en la sequía de inicio de año (16 de febrero a 16 de junio) presentaron un promedio de 3.34 mg l^{-1} (46% ODSat), las de la temporada de lluvias (del 28 de junio al 13 de octubre) fue de 6.02 mg l^{-1} (83.3% ODSat) y las mediciones realizadas en la sequía después de las lluvias (18 de noviembre a 13 de enero) tuvieron un promedio de 6.31 mg l^{-1} (84.4% ODSat). En PM2, los promedios de concentración de OD en la sequía de inicio de año fue igual a 3.05 mg l^{-1} (43.3% ODSat), el de lluvias 5.07 mg l^{-1} (70.4% ODSat) y el de sequía de fin de año 4.02 mg l^{-1} (52.8% ODSat). Las concentraciones registradas cada cinco minutos en PM1 se encontraron entre 1.04

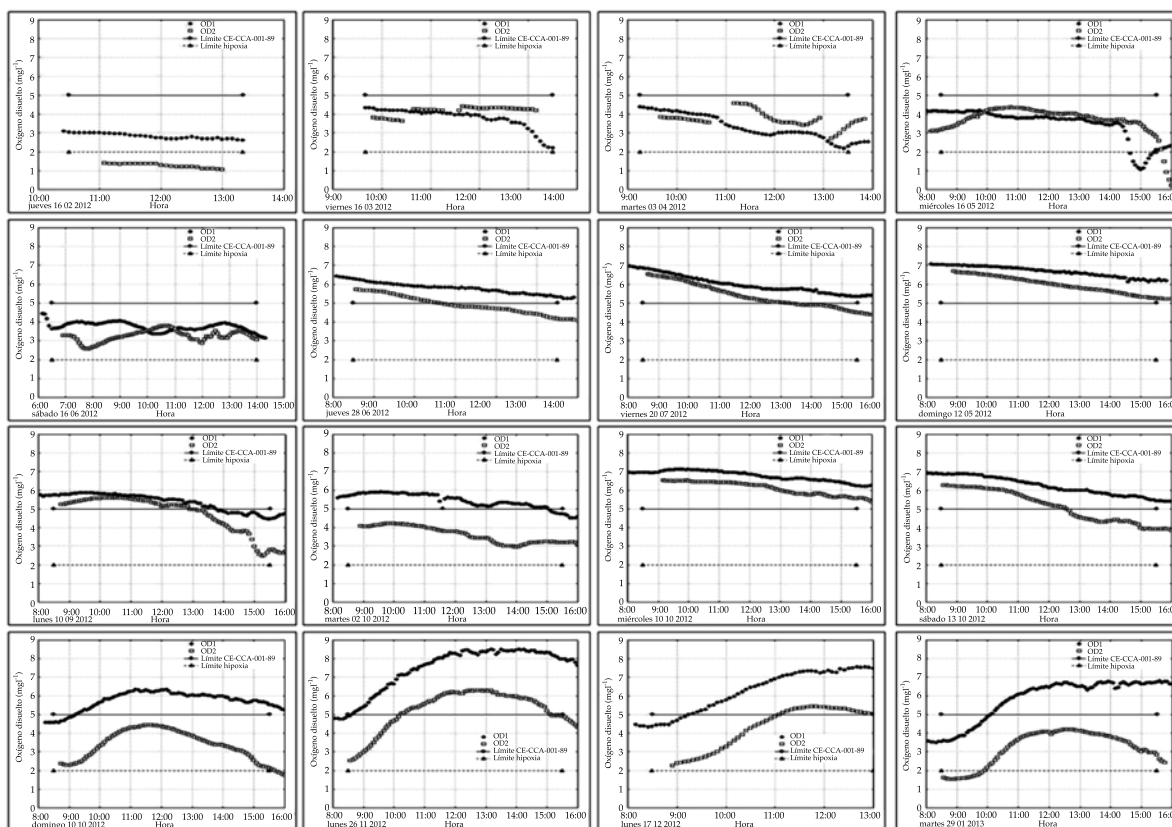


Figura 3. Tendencias de los datos de las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) con respecto a la hora en el río Zahuapan.

mg l^{-1} (16.1% ODSat) y 8.48 mg l^{-1} (125.1% ODSat). En las mediciones del 26 de noviembre y 17 de diciembre se registraron valores mayores a 100% ODSat (supersaturación); por el contrario, en la medición del 16 de mayo se registraron en unos 40 minutos valores menores de 28% ODSat (hipoxia). En PM2, las concentraciones cada cinco minutos estaban entre 0 mg l^{-1} (0% ODSat) y 6.68 mg l^{-1} (87% ODSat). Las mediciones del 16 de febrero, 16 de mayo, 18 y 26 de noviembre, 17 de diciembre y 29 de enero registraron valores menores de 28% (hipoxia).

Los valores de los coeficientes de correlación entre las concentraciones de OD en PM1 contra los del PM2 se encuentran en el cuadro 2. Antes de la medición del 28 de junio, los coeficientes de correlación fueron estadísticamente significativos, tanto los positivos como los negativos, mientras que después de esta fecha fueron sólo

valores positivos, incluso en la temporada de sequía de fin de año.

d) Relación OD con la precipitación pluvial

La precipitación pluvial (PP) registrada en el observatorio climatológico (OC) de la Conagua, localizado a 2 km de los puntos de medición, fue de 981 mm en el año 2012 (Conagua, 2013). Durante la temporada de huracanes, que inició de manera oficial el 1° de junio para el océano Atlántico y finalizó el 30 de noviembre (Conagua, 2012), se registraron 851 mm (87% del total anual). Con base en los registros de precipitación en el OC, se realizaron 7 de las 16 mediciones en la temporada de lluvias entre el 28 de junio y 13 de octubre; las otras nueve, en la temporada de sequía de inicio y fin de año. En los meses de junio, julio y agosto, los más

lluviosos, se registraron 634 mm (65% del total anual). Durante los días 16, 17, 18 y 19 de junio prevaleció el ciclón *Carlota* frente a las costas de Oaxaca; se registraron 49 mm en el OC. El ciclón *Ernesto* llegó a la subcuenca del río Zahuapan el 10 de agosto; ese día se registraron 26.5 mm en el OC, pero en la EC Tlaxco, que se encuentra también en la subcuenca, localizada a 30 km al norte de los puntos de muestreo, se registraron 58.7 mm. El 17 de agosto, el huracán *Helen*, ya como tormenta tropical, y la onda tropical 12 del 20 de agosto no registraron precipitaciones importantes en el OC. Aunque oficialmente la temporada de huracanes inició el 1° de junio, se registraron lluvias continuas a partir del 16 de junio en la tarde. Por otra parte, oficialmente la temporada de huracanes finalizó el 30 de noviembre, pero el 9 de octubre se registró la última precipitación más importante de la temporada en la subcuenca, la cual influyó en las mediciones de OD realizadas el 10 y 11 de octubre.

En la figura 4 se encuentran los valores del coeficiente de correlación (r) que se obtuvieron

al relacionar la PP y el OD. Los coeficientes que resultaron significativos ($p < 0.05$) y más consistentes (con marcas resaltadas en la figura 4), fueron aquellos que relacionaron las varianzas de la OD del PM1 con la PPacu registrada en las cinco EC y en el OC. También en el OC resultó una buena correlación con el promedio de la OD. No se obtuvieron correlaciones significativas consistentes (marcas en grises) entre la PPdiaria y el OD. Los coeficientes de correlación mantuvieron su significancia a partir del día número 12 de lluvia acumulada antes de la medición del OD, con las relaciones de la PPacu y la varianza del OD del PM1, y a partir del día número 8 con la relación de la PPacu y el promedio del OD medido en PM2.

Discusión

Desafortunadamente en la literatura no se reportan datos como los que se presentan en este trabajo para ríos mexicanos y en un contexto similar al del río Zahuapan. Por esta razón, la discusión se realiza, salvo en contadas ocasio-

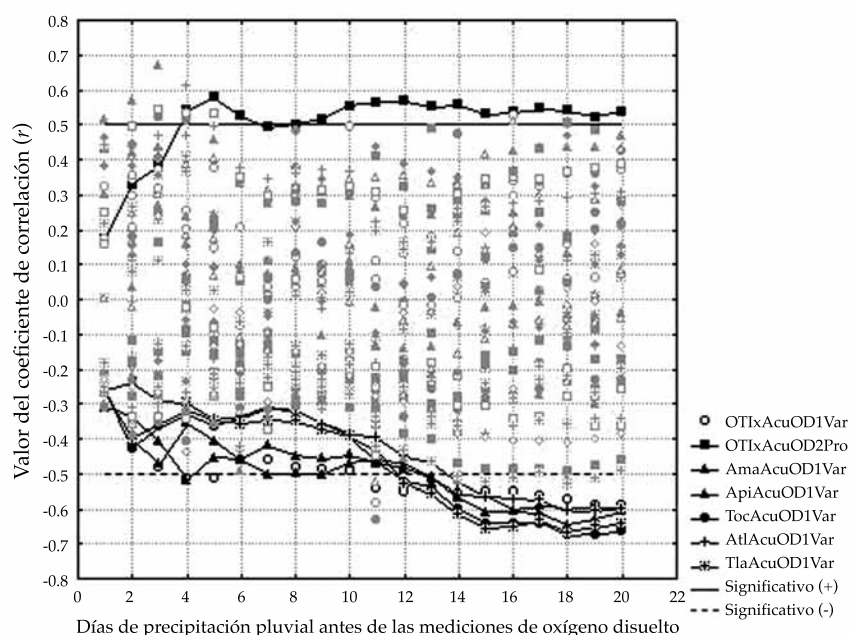


Figura 4. Coeficientes de correlación entre las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) y la precipitación pluvial (PP).

nes, con información de ríos localizados en otros países.

a) Temperatura de la corriente-temperatura ambiente-OD

Las temperaturas ambientales promedio de las horas en los días de medición se encontraron entre 16.4 °C (16 de junio) y 19.7 °C (10 de septiembre). Es importante señalar que tanto en el día más frío como en el más cálido no se registraron ni la menor ni el mayor valor de temperatura de la corriente, como reportan estudios consultados en la literatura. La temperatura mínima de la corriente del río se registró en invierno (11.2 °C) y la máxima en verano (23.4 °C). Con estos datos de los 16 días de medición no se observó variación estacional de la temperatura ambiente ni de la temperatura de la corriente (figura 2). En PM1, las temperaturas ambiente promedio fueron menores (de 0.05 a 1.74 °C) que las temperaturas promedio de la corriente del río en las mediciones realizadas del 16 de marzo al 2 de octubre, exceptuando las mediciones del 16 de febrero y 3 de abril. Esto mismo ocurrió (de 0.59 a 1.61 °C) en PM2, sin ninguna excepción. Huggins y Anderson (2005) también reportaron menor temperatura del ambiente que del agua en varias corrientes del cinturón de los cereales en Estados Unidos. Después, en las mediciones del 10 de octubre a la del 29 de enero, las temperaturas ambiente promedio fueron mayores que las temperaturas promedio de la corriente (de 0.04 a 1.74 °C en el punto 1 y de 0.57 a 2.42 °C en el punto 2). La disminución de temperatura de la corriente en las mediciones de octubre a enero no pudo ser causada por el aumento de caudal (Sand-Jensen & Pedersen (2005), porque la temporada de lluvias finalizó a mediados de octubre, pero posiblemente sí pudo ser provocado por el desazolve que se realizó al río el 10 de septiembre de 2012. Las relaciones entre la temperatura ambiente y la temperatura de la corriente en los dos puntos de medición fueron igual a 1.18 para PM1 y 1.02 para PM2, estos valores se encuentran en el intervalo reportado para el río Magdalena ubicado en la Ciudad

de México (Montes, Navarro, Domínguez, & Jiménez, 2013). Los coeficientes de correlación entre la temperatura ambiente y las temperaturas de la corriente del río en los dos puntos de medición resultaron significativos en 14 de las 16 mediciones, exceptuando las del 16 de junio y 20 de julio.

Bayram, Önsoy, Numan y Akinci (2013) mencionan que cuando existen correlaciones significativas entre la temperatura ambiente y la temperatura de la corriente, el clima es el principal factor que controla la temperatura de la corriente. Aunque la temperatura de la corriente resultó ser mayor (de febrero a octubre) que la temperatura ambiente, no sobrepasó el límite establecido en los criterios ecológicos CE-CCA-001/89 (Sedue, 1989). Entre los puntos de medición, la temperatura del agua promedio en PM1 fue menor que en PM2 (entre 0.05 y 1.18 °C) en las mediciones realizadas de febrero a septiembre. Bayram *et al.* (2013), y Sand-Jensen y Pedersen (2005) reportaron un resultado similar. La diferencia de altura igual a 11 metros entre el PM1 y el PM2 puede ser que no provoque esta diferencia de temperatura, como lo mencionan Bayram *et al.* (2013), quienes encontraron diferencias de temperatura entre dos puntos en una corriente causadas por una diferencia de altura de 61 metros. Sin embargo, en las mediciones de octubre a enero, la temperatura del agua en PM1 fue mayor que en PM2 (de 0.13 a 0.91 °C). Es bien conocido que la sombra del dosel de la vegetación de ribera tiene efecto en la temperatura de la corriente del río; sin embargo, el segmento entre los dos puntos de medición estuvo completamente descubierto y expuesto a la radiación solar, por lo que la diferencia de temperatura entre los dos puntos de medición puede tener otra causa, como el desazolve realizado al río.

Las correlaciones de los promedios por día de medición entre la temperatura ambiente y las concentraciones de OD resultaron no significativas en PM1 y PM2. Wehmeyer y Wagner (2011) reportaron que en los meses cálidos, las concentraciones de oxígeno disuelto disminuyeron en el río Roanoke, ubicado en Estados Unidos, pero

con los promedios de los datos no se obtuvo una variación estacional de la concentración del oxígeno disuelto para el río Zahuapan. Los valores de temperatura del agua de la corriente y la concentración de oxígeno, medidos cada cinco minutos, tuvieron coeficientes de correlación positivos y negativos significativos en 100% de las mediciones (cuadro 2). Los coeficientes fueron positivos en 75% de las mediciones en PM1 (del 16 de febrero al 13 de octubre) y 69% en PM2 (del 16 de febrero al 18 de noviembre, exceptuando 16 de marzo y 16 de junio). Los coeficientes de correlación con signo negativo indican una relación inversamente proporcional entre la temperatura del agua y la concentración de oxígeno disuelto (Riđanović *et al.*, 2010); este tipo de relación es el que se ha reportado por lo regular en la literatura. En este trabajo, los coeficientes de correlación con signo negativos se obtuvieron en la mayoría de los muestreos realizados del 16 de febrero al 13 de octubre. Este lapso abarca la temporada de sequía de inicio de año y la temporada de lluvias. Por otro lado, los coeficientes de correlación con signo positivo indican que hay una relación directamente proporcional entre la temperatura del agua y el oxígeno disuelto. Los coeficientes de correlación positivos se obtuvieron en las mediciones realizadas en la temporada de sequía de fin de año (del 18 de noviembre de 2012 al 29 de enero de 2013). Una relación directamente proporcional entre la temperatura del agua y el oxígeno disuelto no es fácil de explicar. Para el caso del río Zahuapan puede ser que la radiación solar aumentó la temperatura del agua, pero también y en mayor medida la fotosíntesis, resultando en un aumento de la concentración del oxígeno disuelto. En el tramo del río Zahuapan estudiado, después de la temporada de lluvias, se desarrolló biopelícula en las rocas del lecho del río, que posiblemente fue la causa de que la generación de oxígeno disuelto sea mayor que el consumo y por lo tanto aumentó con el transcurso del día y con la temperatura. Esta es una explicación parcial, porque las fluctuaciones diurnas de oxígeno son raramente una función simple de la intensidad de la luz solar sino de

complejos factores (Tafangenyasha, Marshall, & Dube, 2010). Sin embargo, es necesario realizar estudios en el que se midan la producción y consumo de oxígeno en el río, para verificar lo que se ha mencionado.

b) Oxígeno disuelto

Los promedios de las concentraciones de OD obtenidos de las mediciones realizadas de febrero de 2012 a enero de 2013 en dos puntos del río Zahuapan resultaron ser menores a los de los ríos Amacuzac (García, Molina, Quiroz, Trujillo, & Díaz, 2011) y Apatlaco (López & Hansen, 2013), ambos ubicados en el estado de Morelos, pero fueron mayores a los del río Lerma ubicado en el Estado de México (Barceló *et al.*, 2012) y al del río San Pedro en el estado de Aguascalientes (Guzmán *et al.*, 2011), en los cuales predominan concentraciones menores a 1 mg l⁻¹. Estos ríos, al igual que el río Zahuapan, han sido impactados por el hombre de manera similar, debido a que sus áreas de captación tienen las mayores densidades de población de México. En PM1, 62.5% de las mediciones tuvo un promedio mayor a 5 mg l⁻¹ y en PM2 este porcentaje se redujo a 31.2%. Mayor detalle sobre el porcentaje de datos que fueron mayores al valor (5 mg l⁻¹) del criterio ecológico CE-CCA-001/89 (Sedue, 1989), lo aporta el Percentil CCA, el cual indica que en 5 y 8 mediciones realizadas en los puntos 1 y 2 en la época de sequía, 100% de los datos fueron menores que este límite. El Percentil CCA resultó valioso, pues aporta información sobre el porcentaje del conjunto de datos mayores que 5 mg l⁻¹ de OD.

Los promedios de concentración de OD fueron mayores, exceptuando las mediciones de marzo y abril en PM1, comparados con los de PM2. Un resultado similar reportaron He *et al.* (2011), en mediciones realizadas en el río Bow (Canadá). Sin embargo, cuando el río se encuentra en ecosistemas no alterados, puede encontrarse que la concentración de OD es mayor corriente abajo, como lo reportaron Riley y Dodds (2013) para las corrientes Kings Creek (Estados Unidos), quienes encontraron mayor

concentración corriente abajo en arroyos de bosque de galería y arbustos. Para el caso del río Zahuapan, las concentraciones de OD fueron sólo mayores corriente abajo entre las 10 y las 11 a.m., en las mediciones realizadas en la sequía de inicio de año, precisamente cuando hubo vegetación y biopelícula en las rocas del lecho y en las orillas del río. Al aumentar la luz solar, las algas aumentan su actividad fotosintética, produciendo mayor cantidad de oxígeno (Bernot & Wilson, 2012; Riley & Dodds, 2013). Los valores de los coeficientes de correlación (cuadro 2) entre las concentraciones de OD en PM1 con las de PM2 indicaron que existió relación de la concentración de OD entre los dos puntos de medición. Se obtuvieron valores positivos de los coeficientes de correlación, exceptuando en las mediciones del 16 de marzo y 16 de junio. Wehmeyer y Wagner (2011), aunque no cuantificaron la relación entre las concentraciones de OD corriente arriba y corriente abajo en el río Roanoke, en la figura 24 de su reporte se observa de manera general que las concentraciones de OD entre corriente arriba y corriente abajo tienen correlación positiva. Para el caso del río Zahuapan, que está fuertemente impactado por las actividades antropogénicas, puede ser que el consumo de oxígeno por degradación de la materia orgánica y la disminución de la actividad fotosintética sean los factores que provoquen disminución de OD corriente abajo, lo cual significa que el cauce de este río esté funcionando como canal, como pudo ocurrir así en el río Zahuapan, a partir de la temporada de lluvias y el desazolve.

c) Relación del OD con la hora del día

Las gráficas de la figura 3 muestran que las concentraciones de oxígeno disuelto en la corriente del río Zahuapan durante las horas de medición se pueden clasificar en dos grupos. En el primer grupo están las mediciones realizadas del 16 de febrero al 13 de octubre, e incluye la temporada de sequía de inicio de año (de enero a 16 de junio) y la temporada de lluvias (del 16

de junio a octubre). En este grupo, las mayores concentraciones se registraron en las mañanas y disminuyeron con el transcurso del día. Este resultado difiere del reportado por otros autores, quienes registraron mayores concentraciones de OD después del mediodía y menores a media noche (Harrison, Matson, & Fendorf, 2005; Huggins & Anderson, 2005; Wilding, Brown, & Collier, 2012) o antes del amanecer (Klose, Cooper, Leydecker, & Kreidler, 2012). El aumento de OD en el día es causado por la disponibilidad de luz y la actividad autotrófica (Bernot & Wilson, 2012). Otros autores reportan que el OD aumenta en la noche conforme la temperatura disminuye (Riley & Doods, 2013) debido a la mayor solubilidad del oxígeno a menores temperaturas. Desafortunadamente en este trabajo no fue posible medir 24 horas continuas, por falta de infraestructura, para conocer el comportamiento de las concentraciones de OD en la noche.

En el segundo grupo se encuentran las mediciones realizadas del 18 de noviembre al 29 de enero, la cual comprende la sequía de fin de año. En este grupo, las concentraciones de OD fueron menores en la mañana, aumentaron a mediodía y disminuyeron en la tarde. Este comportamiento del oxígeno disuelto en el río Zahuapan es comparable con lo reportado por varios autores (Harrison *et al.*, 2005; Huggins & Anderson, 2005; Bernot & Wilson, 2012; Klose *et al.*, 2012; Wilding *et al.*, 2012; Riley & Doods, 2013). Es importante señalar que con estos resultados se puede ver que las concentraciones de oxígeno disuelto en la corriente del río pueden disminuir en una hora determinada del día a valores menores al que se establece en los criterios ecológicos de la legislación mexicana. Como ocurrió en las mediciones realizadas en febrero, marzo, abril, mayo, noviembre, diciembre y enero, en los cuales las concentraciones disminuyeron a valores menores de 2 mg l^{-1} , clasificados en la categoría de hipoxia, esto es el reflejo de una respuesta compleja de diversos factores, como la carga orgánica de fuentes difusas (Shields & Knight, 2012).

d) Relación OD con la precipitación pluvial

Los promedios de OD de las mediciones realizadas en la temporada de lluvia fueron mayores a los de la sequía con diferencias estadísticas ($p < 0.05$). Este resultado mostró que las precipitaciones pluviales afectaron de manera positiva las concentraciones de OD en el río Zahuapan y no es comparable con el reportado por varios autores, quienes mencionan que los escurrimientos de las lluvias aumentan la turbiedad y disminuyen el OD debido a los sedimentos y materia orgánica que transportan (Graves *et al.*, 2004; Abowei, 2010; Shields & Knight, 2012). Egborge (1971), citado en Abowei (2010), reportó que el OD por lo general es mayor en la temporada de lluvias en los trópicos. Esto pudo ocurrir en el río Zahuapan, aunque no se encuentre precisamente en una región tropical. Los promedios de OD registrados en la sequía de inicio de año fueron menores a los de la sequía de fin de año. Esto puede deberse a la remoción de macrófitas o plantas vasculares por el desazolve del río realizado en junio y septiembre. Las plantas vasculares afectan de modo negativo las concentraciones de oxígeno debido a que transfieren carbono orgánico al sistema, crean sombra, atrapan sedimentos, reducen la turbulencia, generan gradientes de condiciones redox y son hábitats de organismos autótrofos y heterótrofos (Caraco, Cole, & Strayer, 2006). Kaenel, Buehrer y Uehlinger (2000) reportaron que el corte de las macrófitas aumenta la concentración diurna y disminuye la variación de oxígeno transitoriamente, lo cual es comparable con el resultado obtenido en este trabajo.

Wehmeyer y Wagner (2011) no encontraron correlación entre los promedios anuales de precipitación y los promedios anuales de OD. En este trabajo tampoco se encontró relación entre los promedios de las concentraciones de OD de cada día de medición con el total de las precipitaciones mensuales registradas en la estación más cercana a los puntos de medición. Sin embargo, a escala diaria, resultaron correlaciones positivas significativas ($p < 0.05$) entre los

promedios de OD y la PPacu del OC en PM2. Con las varianzas de OD y la PPacu de las cinco EC y del OC, las correlaciones fueron negativas significativas ($p < 0.05$) en PM1. Este resultado no es comparable al reportado por Chapman, Chapman, Crisman y Prenger (2000), quienes encontraron una relación negativa entre el OD y la PP, mientras que en este trabajo se obtuvo una relación positiva. La relación negativa entre el OD y las varianzas significa que la PP disminuyó la variabilidad de las concentraciones de OD.

Este análisis mostró también que a partir del día 8, la PPacu explicó mejor los promedios de OD en PM2 y la PPacu a partir del día 12 lo hizo con las varianzas de OD en PM1. La relación positiva entre el promedio de OD en PM2 y la PPacu registrada en OC significó que a mayor cercanía entre los sitios de medición de OD y PP se detectaron correlaciones entre estas variables en el río Zahuapan, tal como lo mencionan Chapman *et al.* (2000) para pequeñas corrientes. Respecto a las correlaciones significativas negativas entre las varianzas de OD y PPacu registrada en las cinco EC y en el OC, mostraron que la variabilidad de las concentraciones de OD pudiera estar relacionada con la PP registrada en estaciones cercanas o distantes (p. ej., 30 km) del sitio de medición de OD.

Conclusiones

Antes y durante la temporada de lluvias, las temperaturas de la corriente fueron mayores que las temperaturas ambientales, pero no sobrepasaron el límite establecido en la normatividad mexicana. La relación entre la temperatura ambiente y la temperatura de la corriente resultó significativa. Los coeficientes de correlación entre las concentraciones de OD y la temperatura de la corriente fueron significativos negativos antes y durante la temporada de lluvias, y positivos después de esta temporada. La relación negativa entre estas variables es comparable a la reportada en la literatura, pero no se ha reportado una correlación positiva, por lo que es necesario continuar con este tipo de estudios.

Las concentraciones promedio en PM1 fueron diferentes de manera significativa en relación con las de PM2. Antes y en la temporada de lluvias, los valores de OD, durante las horas de medición, tuvieron tendencias atípicas; después de lluvias, las tendencias fueron comparables con las reportadas en la literatura.

Se obtuvieron coeficientes de correlación positivos entre los promedios de OD y la precipitación acumulada, y coeficientes negativos entre las varianzas de OD y la precipitación acumulada. Los coeficientes de correlación positivos mostraron que las precipitaciones pluviales aumentaron las concentraciones de OD y los coeficientes negativos mostraron que las lluvias redujeron las variaciones de las concentraciones de OD. Sin embargo, estos efectos de las lluvias sobre el OD fueron observables de 8 a 12 días después del inicio de una serie de días de lluvias.

Agradecimientos

A la empresa Aquatec-México S.A. de R.L., por facilitar los electrodos utilizados en este trabajo.

Referencias

- Abowei, J. F. N. (2010). Salinity, Dissolved Oxygen, pH and Surface Water Temperature Conditions in Nkoro River, Niger Delta, Nigeria. *Advance Journal of Food Sciences Technology*, 2(1), 36-40.
- Barceló, Q. I., López, G. E., Solís, C. H., Domínguez, M. E., & Gómez, S. S. (2012). Water Quality Assessment of Jose Antonio Alzate Dam, the Lerma River and its Tributaries in the State of Mexico, Mexico. *Journal of Environmental Protection*, 3, 878-888, doi:10.4236/jep.2012.328103.
- Bayram, A., Önsoy, H., Numan, B. V., & Akinci, G. (2013). Influences of Urban Wastewaters on the Stream Water Quality: A Case Study from Gumushane Province, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 1285-1303, doi: 10.1007/s10661-012-2632-y.
- Bellos, D., & Sawidis, T. (2005). Chemical Pollution Monitoring of the River Pinios (Thessalia-Greece). *Journal of Environmental Management*, 76(4), 282-292, doi: 10.1016/j.jenvman.2005.01.027.
- Bernot, M. J., & Wilson, K. P. (2012). Spatial and Temporal Variation of Dissolved Oxygen and Ecosystem Energetics in Devils Hole, Nevada. *Western North American Naturalist*, 72(3), 265-275, doi: http://dx.doi.org/10.3398/064.072.0301.
- Caraco, N. F., Cole, J. J., & Strayer, D. L. (2006). Top-Down Control from the Bottom: Regulation of Eutrophication in a Large River by Benthic Grazing. *Limnology and Oceanography*, 51(1), part 2, 664-670, doi: http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056[0219:VPAEOO]2.0.CO;2.
- CEAT (2012). *Documentos: monitoreo del río*. Comisión Estatal del Agua de Tlaxcala. Recuperado de http://www.ceat.gob.mx/?page_id=3605.
- CGE (1997). *Diagnóstico preliminar de la contaminación del río Zahuapan, Tomo II*. Tlaxcala, México: Coordinación General de Ecología, Gobierno del Estado de Tlaxcala.
- Chapman, L. J., Chapman, C. A., Crisman, T. L., & Prenger, J. (2000). Predictors of Seasonal Oxygen Levels in an Ugandan Swamp/River System: A 3-Year Profile. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 27, 3048-3053.
- Conagua (2013). *Solicitud de información pública o de acceso a datos personales: número de folio 1610100040213*. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <http://www.infomex.org.mx/gobiernofederal>.
- Conagua (2012). *Pronostican menos ciclones tropicales en temporada 2012*. Comisión Nacional del Agua. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Avisos/Aviso%20009-12.pdf>.
- Conagua (2010). *Estadísticas del agua en la cuenca del río Balsas, 2010*. México, DF: Comisión Nacional del Agua, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- García, R. J., Molina, A. F. I., Quiroz, C. H., Trujillo, J. P., & Díaz, V. M. (2011). Distribución y sistemática del fitoplancton a lo largo del río Amacuzac (Morelos, México). *Acta Universitaria*, 21(2), 11-23.
- Graves, G. A., Wan, Y., & Fike, D. L. (2004). Water quality characteristics of storm water from major land uses in south Florida. *Journal of the American Water Resources Association*, 40(6), 1405-1419.
- Guzmán, C. G., Ramírez, E. M., Thalasso, L. F., Rodríguez, N. S., Guerrero, B. A. L., & Avelar, G. F. J. (2011). Evaluation of Pollutants in Water and Sediments of the San Pedro River in the State of Aguascalientes. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 27(1), 17-32.
- Harrison, J. A., Matson, P. A., & Fendorf, S. E. (2005). Effects of a Diel Oxygen Cycle on Nitrogen Transformations and Greenhouse Gas Emissions in a Eutrophied Subtropical Stream. *Aquatic Sciences*, 67(3), 308-315.
- He, J., Chu, A., Ryan, M. C., Valeo, C., & Zaitlin, B. (2011). Abiotic Influences on Dissolved Oxygen in a Riverine Environment. *Ecological Engineering*, 37(11), 1804-1814, doi:10.1016/j.ecoleng.2011.06.022.
- Huggins, D. G., & Anderson, J. (2005). *Dissolved Oxygen Fluctuation Regimes in Streams of the Western Corn Belt Plains Ecoregion*. Kansas Biological Survey. Central Plains

- Center for BioAssessment. Kansas: University of Kansas, prepared in Fulfillment of USEPA Award X7-99790401, Report No. 130.
- INEGI (2010). *Documento técnico descriptivo de la red hidrológica escala 1:50000, edición: 2.0*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Recuperado de http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro.
- Kaenel, B. R., Buehrer, H., & Uehlinger, U. (2000). Effects of Aquatic Plant Management on Stream Metabolism and Oxygen Balance in Streams. *Freshwater Biology*, 45(1), 85-95.
- Klose, K., Cooper, S. D., Leydecker, A. D., & Kreitler, J. (2012). Relationships among Catchment Land Use and Concentrations of Nutrients, Algae, and Dissolved Oxygen in a Southern California River. *Freshwater Science*, 31(3), 908-927, doi: 10.1899/11-155.1.
- López, L. E., & Hansen, A. M. (2013). *Determinación del estado de salud e indicadores biológicos para la evaluación de la recuperación del río Apatlaco. Informe final*. Conacyt-IPN-IMTA, julio 2013. Recuperado de <http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/handle/123456789/954>.
- Master, G. M. (2008). *Introduction to Environmental Engineering and Science* (3rd Edition). Englewood Cliffs, USA: Prentice Hall.
- Metcalf & Eddy Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th Edition). New York: McGraw- Hill Higher Education.
- Montes, R. T., Navarro, I., Domínguez, R., & Jiménez, B. (2013). Modificación de la capacidad de autodepuración del río Magdalena ante el cambio climático. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(5), 71-83.
- Mulholland, P. J., Houser, J. N., & Maloney, K. O. (2005). Stream Diurnal Dissolved Oxygen Profiles as Indicators of In-Stream Metabolism and Disturbance Effects: Fort Benning as a Case Study. *Ecological Indicators*, 5(3), 243-252, doi: 10.1016/j.ecolind.2005.03.004.
- Muñoz, N. H., Suárez, S. J., Vera, R. A., Orozco, F. S., Battle, S. J., Ortiz, Z. J. A., & Mendiola, A. J. (2012). Demanda bioquímica de oxígeno y población en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 27-38.
- Ridanović, L., Ridanović, S., Jurica, D., & Spasojević, P. (2010). *Evaluation of Water Temperature and Dissolved Oxygen Regimes in River Neretva* (pp. 1-10) Ohrid, Republic of Macedonia: BALWOIS 2010.
- Riley, A. J., & Dodds, W. K. (2013). Whole-Stream Metabolism: Strategies for Measuring and Modeling Diel Trends of Dissolved Oxygen. *Freshwater Science*, 32(1), 56-69, doi: 10.1899/12-058.1.
- Sand-Jensen, K., & Pedersen, N. L. (2005). Differences in Temperature, Organic Carbon and Oxygen Consumption among Lowland Streams. *Freshwater Biology*, 50(12), 1927-1937, doi: 10.1111/j.1365-2427.2005.01436.x.
- Sedue (1985). *Proyecto de ordenamiento ecológico de la cuenca alta del río Balsas, con atención a la microrregión del río Zahuapan*. Contrato núm. 412-009-85. México, DF: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Análisis y Soluciones, S.C.
- Sedue (1989). CE-CCA-001/89. CE-CCA-001/89: Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. *Diario Oficial de la Federación*. México, DF: Estados Unidos Mexicanos, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
- Shields, F. D. Jr., & Knight, S. S. (2012). Significance of Riverine Hypoxia for Fish: The Case of the Big Sunflower River, Mississippi. *Journal of the American Water Resources Association*, 48(1), 170-186, doi: 10.1111/j.1752-1688.2011.00606.x.
- Statsoft, Inc. (2007). Statistica (Data Analysis Software System), version 8.0. Recuperado de www.statsoft.com.
- Tafangenyasha, C., Marshall, B. E., & Dube, L. T. (2010). The Diurnal Variation of the Physico-Chemical Parameters of a Lowland River Flow in a Semi-Arid Landscape with Human Interferences in Zimbabwe. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2(6), 137-147.
- Wehmeyer, L. L., & Wagner, C. R. (2011). *Relation between Flows and Dissolved Oxygen in the Roanoke River between Roanoke Rapids Dam and Jamesville, North Carolina, 2005-2009* (pp. 2011-5040). Reston, USA: U.S. Geological Survey.
- Wenner, E., Sanger, D., Arendt, M., Holland, A. F., & Chen, Y. (2004). Variability in Dissolved Oxygen And Other Water-Quality Variables within the National Estuarine Research Reserve System. *Journal of Coastal Research, Special Issue 45*, 17-38, doi: <http://dx.doi.org/10.2112/SI45-017.1>.
- Wilding, T. K., Brown, E., & Collier, K. J. (2012). Identifying Dissolved Oxygen Variability and Stress in Tidal Freshwater Streams of Northern New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(10), 6045-6060, doi: 10.1007/s10661-011-2402-2.

Dirección institucional de los autores

Dr. Hipólito Muñoz
Dr. Saturnino Orozco
M.C. Andrea Vera
Dr. Juan Suárez
Dr. José Jiménez

Universidad Autónoma de Tlaxcala
Facultad de Agrobiología
Benito Juárez núm. 3
90250 Tlaxco, Tlaxcala, MÉXICO
Teléfono: +52 (241) 4961 589
hipolito78@hotmail.com
orosat80@hotmail.com
cambisol@hotmail.com
jsuarezs71@hotmail.com
josejilo@hotmail.com

Dra. Edelmira García

Universidad Autónoma de Tlaxcala
Centro de Investigación en Genética y Ambiente
Autopista Texmelucan-Tlaxcala km 10.2
90120 Ixtacuixtla, Tlaxcala, MÉXICO
Teléfono: +52 (248) 4815 500
mirosgn@yahoo.com.mx.

Lic. Mercedes Neria

Calle Pedro Pérez Núm. 80
90660 Cuaxomulco, Tlaxcala, MÉXICO
meneri_20@hotmail.com.