

## **Servicio Ambiental de la Presa Valsequillo para las cuencas de los Ríos del Atoyac-Sahuapan y Alseseca, Puebla, Tlaxcala, México.**

P.F. Rodríguez-Espinosa\* ([prodrigueze@ipn.mx](mailto:prodrigueze@ipn.mx)) S.S. Morales García <sup>+</sup>, M.P. Jonathan\*  
M. Navarrete-López <sup>++</sup>, A.A. Bernal-Campos\*, A. González-Cesar <sup>\*\*</sup> y  
N.P. Muñoz-Sevilla\*

\*Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD), Instituto Politécnico Nacional (IPN), Calle 30 de Junio de 1520, Barrio la Laguna Ticomán, Del. Gustavo A. Madero, C.P.07340, México D.F., México.

<sup>+</sup>Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas

<sup>++</sup>Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Laboratorio Central de Instrumentación, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México D.F., México.

<sup>\*\*</sup>SEMARNAT, Puebla, México.

### Resumen

La Presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo) desempeña el servicio ambiental de depuración y retención de sólidos suspendidos para las cuencas de los Ríos Atoyac-Sahuapan y Alseseca en los estados de Puebla y Tlaxcala. La Presa funciona como un vaso de sedimentación en donde se recibe la más importante carga de sólidos Totales que forma la mayoría de los sólidos suspendidos. Este efecto es favorecido por la disminución en la velocidad del agua acarreada por los ríos una vez que descargan en la presa. La presa también desempeña una función depuradora por la retención de metales mayoritarios y traza, y por la disminución de la concentración de los parámetros DQO (209,000 Ton/año) y DBO<sub>5</sub> (64,000 Ton/año), gran parte de este funcionamiento depurador se debe a la presencia de lirio acuático y macrófitas asociadas (biofiltros); y a que la Presa está seccionada de forma natural por una península en San Baltasar Tetela, la cual genera un umbral que divide hidrodinámica e hidroquímicamente el cuerpo de agua, seccionando la presa dos cuerpos de agua, a este umbral se le ha denominado el Umbral de San Baltasar. Los biofiltros deben ser estudiados y manejados conforme a los resultados obtenidos en el presente estudio, todo pensando en un sistema controlado basado en un diseño de ingeniería ambiental, que mantenga un mínimo de área de biofiltro eficiente con aprovechamiento y disposición de las macrofitas una vez que son ocupados. De igual forma la inclusión de un sistema de saneo de sedimentos programado para las diferentes áreas afectados a lo largo de 30 años y la continuidad del programa de saneamiento integral de la cuenca del Río Atoyac-Sahuapan y Alseseca.

### **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

La evaluación de la calidad y contaminación del agua de la Presa Valsequillo se consideró el cauce de los Ríos Zahuapan, Atoyac y Alseseca, que en su trayectoria atraviesan parques industriales y empresas dedicadas principalmente a los giros: textil, químico, construcción, electromecánica automotriz y petroquímica; de igual forma son receptores de los colectores industriales y municipales. Por lo tanto los ríos mencionados se convierten en los principales aportadores de contaminantes a la Presa de Valsequillo con una importante carga de aguas residuales de tipo industrial y urbano.

Se considera que el Río Atoyac descarga con un caudal medio anual de 6.7 m<sup>3</sup>/seg del cual 1.7 m<sup>3</sup>/seg son aguas residuales (26 %), mientras que el Río Alseseca aporta a la Presa Manuel Ávila Camacho un caudal medio anual de 0.8 m<sup>3</sup>/seg del cual 0.7 m<sup>3</sup>/seg (88%) corresponden a descargas de alcantarillado sanitario (Saldaña *et. al.* 2008).

Por otro lado se considera que el Río Atoyac aporta 69 ton/día de contaminantes, el Río Zahuapan 8 ton/día, el Río San Francisco 21.5 ton/día y 28 ton/día el Río Alseseca (Díaz *et al* 2008); lo cual propicia un severo problema de contaminación en la presa de origen doméstico e industrial ocasionando la generación de olores desagradables y coloración verde del agua.

Por lo anterior y tomando en cuenta que las rutas de contaminación están marcadas de forma mayoritaria por los ríos que confluyen en la presa, en el presente trabajo se tomaron muestras de en los ríos y en la presa de Valsequillo; y se realizaron los análisis correspondientes de calidad del agua de acuerdo a la normatividad nacional vigente: Norma Oficial Mexicana *NOM-001-SEMARNAT 1996*, “Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales” y de la Norma Oficial Mexicana *NOM-127-SSA1-1994*, “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

El muestreo y trabajo analítico fue realizado por personal especializado del Centro de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD) y del Laboratorio Central de Instrumentación (LCI) de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) que cuenta con la acreditación ante la Entidad Mexicana de Acreditación No. AG-063-007/06.

### **Muestreo de campo**

Se recolectaron 42 muestras de agua; 3 en los pozos Apatlachica, Desarenador y Acuexcomac, 2 en los manantiales Gigante y Tejaluca, 11 en los ríos Atoyac y Alseseca y 26 en la Presa Valsequillo (11 superficiales y 15 a medio fondo y fondo). La ubicación geográfica de las estaciones de muestreo se presenta en la figura 1.

### **Análisis en Laboratorio**

Los compuestos y elementos analizados son en primera instancia los que se especifican en la NOM – 127 – SSA1 – 1994 y en la NOM – 001 – SEMARNAT - 1996, y con la finalidad de tener un diagnóstico más completo se analizaron parámetros adicionales. Las metodologías analíticas empleadas se indican en las Cuadros 1, 2, 3a y 3b.

### **Parámetros analizados**

#### **Fisicoquímicos**

Cianuros (como  $CN^-$ ), cloruros (como  $Cl^-$ ), dureza total (como  $CaCO_3$ ), fluoruros ( $F^-$ ), nitrógeno amoniacal, nitratos (como  $N$ ), nitritos (como  $N$ ), pH (potencial de hidrógeno), sólidos disueltos totales, sulfatos (como  $SO_4$ ), sustancias activas al azul de metileno (SAAM), turbiedad, color, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites, fosfatos, nitrógeno total, oxígeno disuelto, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sólidos totales y temperatura. En el presente trabajo se reporta el total de parámetros estudiados de forma concentrada y de manera ampliada los parámetros integradores  $DBO_5$  y DQO.

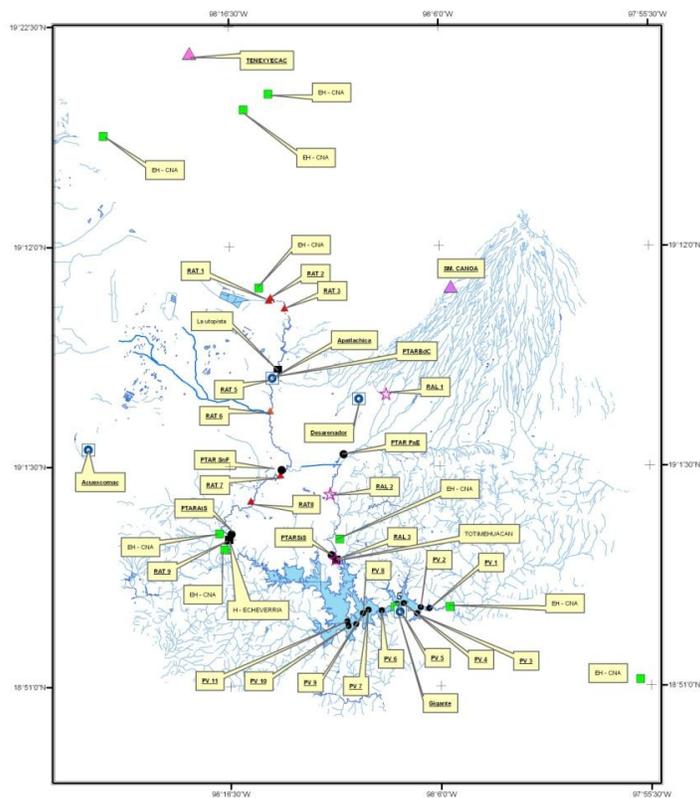


Figura 1. Mapa de Localización de las estaciones de muestreo: Pozos (Acuexcomac, Apetlachica y Desarenador), Manantiales (Gigante), RAL (río Alseseca), RAT (río Atoyac), PV (Presa Valsequillo), y Muestras de Montaña (SM. Canoa). Localización de las Estaciones de Monitoreo Ambiental e Hidrométricas, CNA, (EH-CNA, H Echeverría, respectivamente). Localización de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

## Análisis de Resultados

### Parámetros Físico Químicos

Los parámetros físico químicos determinados, presentaron una amplia dispersión de sus concentraciones toda vez que las muestras provienen de diferentes sistemas acuáticos (ríos y presa), de zonas industrializadas y urbanas del Municipio de Puebla y Estado de Tlaxcala. Lo anterior se puede observar en una gráfica que agrupa los 14 parámetros físico químicos de 37 estaciones de muestreo de los Ríos Zahuapan, Atoyac y Alseseca; así como de los resultados de las muestras recuperadas en la Presa Manuel Ávila Camacho (ver figura 2a y 2b).

Es importante mencionar que las asociaciones naturales de los diferentes parámetros físico químicos son marcadas, ya que se relacionan por la magnitud de su concentración, tal es el caso para el grupo de los sólidos totales (ST), sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos suspendidos totales (SST), los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO<sub>5</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO) y el grupo de las sales disueltas (dureza total, cloruros y sulfuros).

Lo importante de llamar aquí la atención es la dispersión de los datos en el diagrama de caja. En el caso del grupo de  $DBO_5$  podemos observar que no se trata solamente de aguas procedentes de zonas urbanas sino que también está presente una componente industrial, lo que hace manifiesto que no se presente de forma semi concentrada el  $DBO_5$  del DQO.

En otras palabras, las cajas muy grandes y alargadas representan amplia dispersión de datos mientras que las cajas cortas representan condiciones de poca variabilidad en la concentración de las variables representadas, cabe mencionar que el eje Y está representado de forma logarítmica (base 10) para contener la representatividad de la magnitud de los diferentes parámetros. Con el fin de ilustrar lo descrito anteriormente se presentan dos diagramas de caja los cuales han de representar las concentraciones de los 14 parámetros físico químicos estudiados para los ríos (ver figura 2a) y la presa (ver figura 2b), cabe mencionar que se conserva la escala del eje Y para poder comparar los diferentes diagramas de caja.

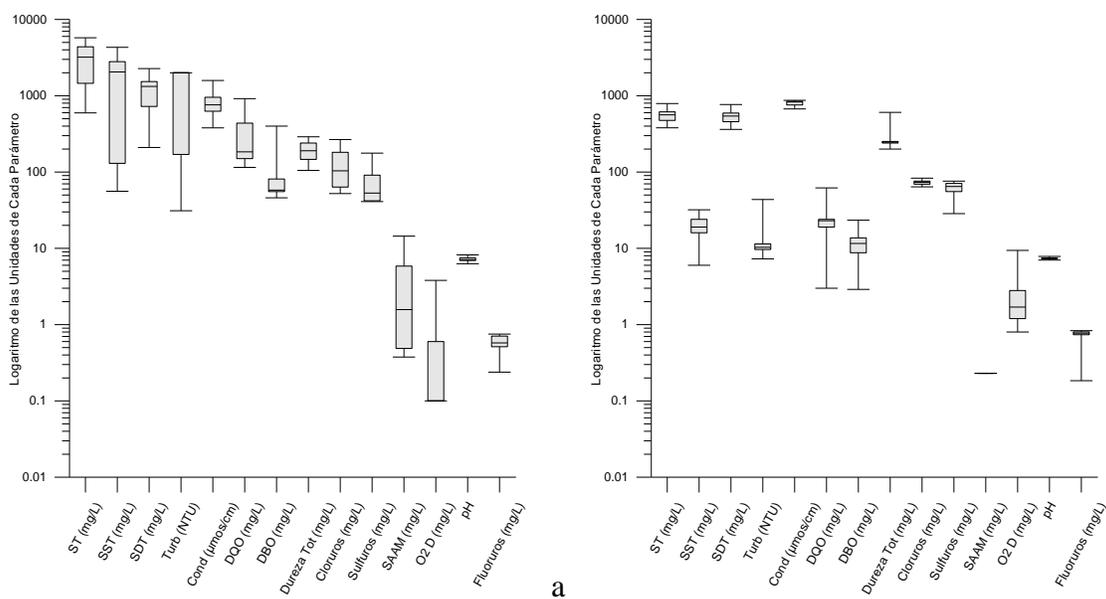


Figura 2a). Diagrama de caja de ST, SST, SDT, Turb, Cond, DQO,  $DBO_5$ , Dureza Total, Cloruros Sulfuros, SAAM  $O_2$ , pH y Fluoruros, correspondiente a muestras recolectadas en los Ríos Zahuapan, Atoyac, Alse seca y 2b). Presa Manuel Ávila Camacho.

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días ( $DBO_5$ )**

A continuación se presentan los resultados de la concentración de diferentes parámetros físico químicos, a través de una representación espacial del comportamiento del  $DBO_5$  en los Ríos Zahuapan y Río Atoyac antes de ingresar a la zona urbana de Puebla, después en su tránsito por la Cd. de Puebla y hasta alcanzar, desde el ingreso hasta la cortina, la Presa Manuel Ávila Camacho (ver figura 3).

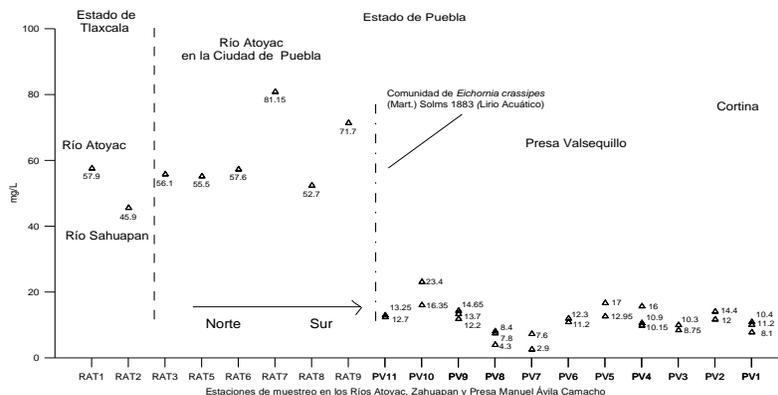


Figura 3. Gráfica de DBO<sub>5</sub> correspondiente a muestras recolectadas en los Ríos Zahuapan, Atoyac y Presa Manuel Ávila Camacho.

El comportamiento de este parámetro registra un ingreso al Estado de Puebla con valores por debajo de la Norma, presentando una concentración mayor en el Río Atoyac de 57.9 mg/L que el Río Zahuapan con 45.9 mg/L. Una vez en la Cd. de Puebla se mantienen los valores de ingreso hasta que alcanza la Estación RAT7 ubicada después de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Francisco, este importante incremento a 81.15 mg/L, sin rebasar los valores máximos permisibles, son debidos a la incorporación del Río San Francisco al Río Atoyac, no obstante que se sus aguas pasan por la planta de tratamiento. Es importante destacar que la contribución de este parámetro denota una carga de materia orgánica producto de aguas residuales municipales. Los valores de DBO<sub>5</sub> en el Río Atoyac antes de llegar a la Presa Manuel Ávila Camacho presentan un pulso de 52.7 mg/L y ya en la Estación RAT9 entrega sus aguas con 71.7 mg/L, esta ganancia de DBO<sub>5</sub> se presenta después de pasar por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atoyac Sur (ver figura 3).

Por último, ya en la presa y después de pasar por la comunidad de *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms 1883 (Lirio Acuático), los valores de este parámetro pulsan entre 23.4 y 2.9 mg/L para superficie y profundidad respectivamente; presentando en términos generales gradientes en las estaciones que se encuentran cerca de la cortina con valores de 10.4 10.2 mg/L a 8.1 y 8.8 mg/L entre la superficie a una profundidad en la columna de agua de 20 a 30 metros respectivamente. Mientras que para las estaciones que se encuentran cercanas al campo de lirios acuáticos los valores fueron de 16.4 a 12.7 en la superficie y a una estación de profundidad de 10 metros varió de 13.3 a 23.4 mg/L.

En términos generales podemos observar que una vez que las aguas del Río Atoyac alcanzan la Presa Manuel Ávila Camacho los valores de DBO<sub>5</sub> disminuyen considerablemente por efecto de la comunidad de Lirios Acuáticos. Los resultados aquí obtenidos son congruentes con los resultados de los trabajos realizados por diferentes investigaciones llevadas a cabo en el mundo y que hoy están en el *estado del arte* como Alade y Ojoawo (2009); Munavalli y Saler (2009), Chaudhuri *et al* (2002).

Ahora bien, el comportamiento antes descrito para el DBO<sub>5</sub> en el Río Atoyac, es muy semejante al ocurrido en el Río Alseseca, en el extremo oriental de la zona de estudio (ver figura 4).

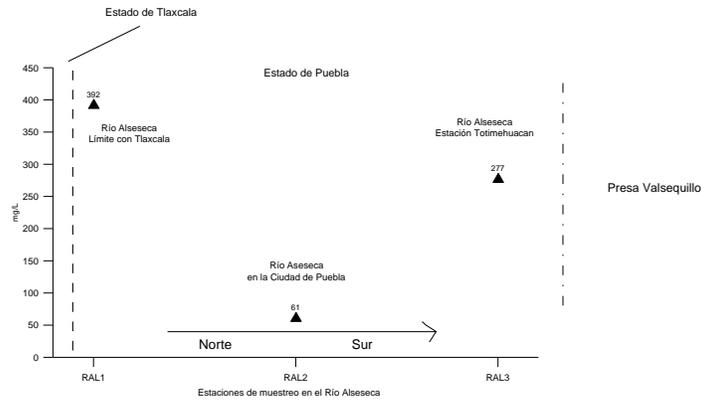


Figura 4. Gráfica de DBO<sub>5</sub> correspondiente a muestras recolectadas en el Río Alseseca.

Es importante remarcar que para el Río Alseseca los valores de DBO<sub>5</sub> presentan un considerable aumento que excede los límites permisibles para ríos en las estaciones RAL1 con 400 mg/L y en RAL2 con 280 mg/L para la entrada del río a la ciudad y antes de ser entregada el agua a la presa (ver figura 4). Los datos aquí reportados son un reflejo de lo que ha acontecido, en al menos en los últimos 9 años, se presentan datos de las determinaciones realizadas por la Gerencia de Calidad de Agua de la Comisión Nacional del Agua. Los datos corresponden a tres series de tiempo del parámetro DBO<sub>5</sub> para las Estaciones de Monitoreo Ambiental CNA: Autopista, Echeverría y Totimehuacan. Las estaciones monitorean el Río Atoyac, ya en confluencia con el Río Zahuapan, a la entrada y salida de la Cd. de Puebla (Estación La Autopista y Estación Echeverría respectivamente) y a la salida de la Ciudad de Puebla del Río Alseseca (Estación Totimehuacan), (ver Figura 7).

### Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El comportamiento del parámetro DQO en los Ríos Zahuapan y Río Atoyac antes de ingresar a la zona urbana de Puebla, después en su recorrido por la Cd. de Puebla, y hasta alcanzar la cortina de la Presa Manuel Ávila Camacho se presenta en la figura 5.

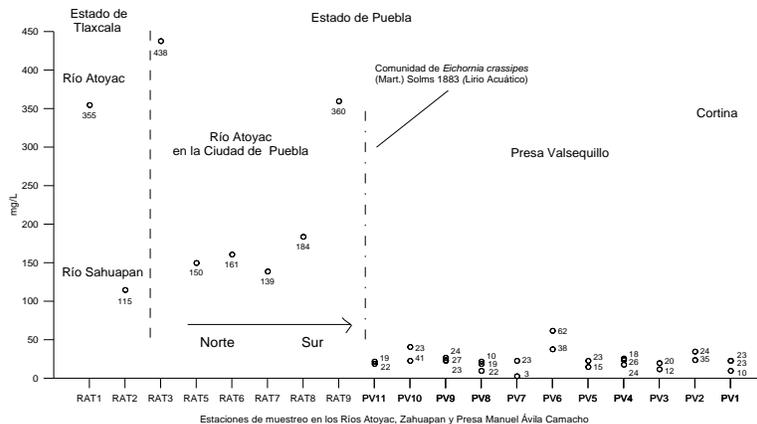


Figura 5. Gráfica de DQO correspondiente a muestras recolectadas en los Ríos Zahuapan, Atoyac y Presa Manuel Ávila Camacho.

Como se podrá observar el parámetro DQO registra al ingreso del Estado de Puebla valores en el Río Atoyac de 355.9 mg/L y de 115 mg/L en el Río Zahuapan. Poco antes de ingresar a la Cd. de Puebla, ya en el Estado de Puebla, después de haber confluído estos dos ríos, se presenta una concentración de 438 mg/L en la estación RAT3, el comportamiento de este parámetro en el transcurso de la Cd de Puebla se mantiene en concentraciones de 150 a 184 mg/L hasta alcanzar 360 mg/L en la Estación RAT9 antes de llegar a la Presa Manuel Ávila Camacho, después de pasar por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atoyac Sur (ver figura 14); ya en la presa y después de pasar por la comunidad de *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms 1883 (Lirio Acuático).

Las concentraciones DQO pulsan entre 35 y 3 mg/L para agua superficial y profunda respectivamente; alcanzando máximos de 62 y 38 mg/L en la Estación PV6, para superficie y profundidad respectivamente. En términos generales podemos observar que una vez que las aguas del Río Atoyac alcanzan la Presa Manuel Ávila Camacho los valores de DQO disminuyen considerablemente por efecto de la comunidad de los Lirios Acuáticos. Los resultados aquí obtenidos son congruentes con los resultados de los trabajos realizados por diferentes investigaciones llevadas a cabo en el mundo y que hoy están en el *estado del arte* como Alade y Ojoawo (2009); Munavalli y Saler (2009), Chaudhuri *et al* (2002);

Ahora bien, el comportamiento antes descrito para el DQO en el Río Atoyac, es diferente al ocurrido en el Río Alseseca, en el extremo oriental de la zona de estudio (ver Figura 6).

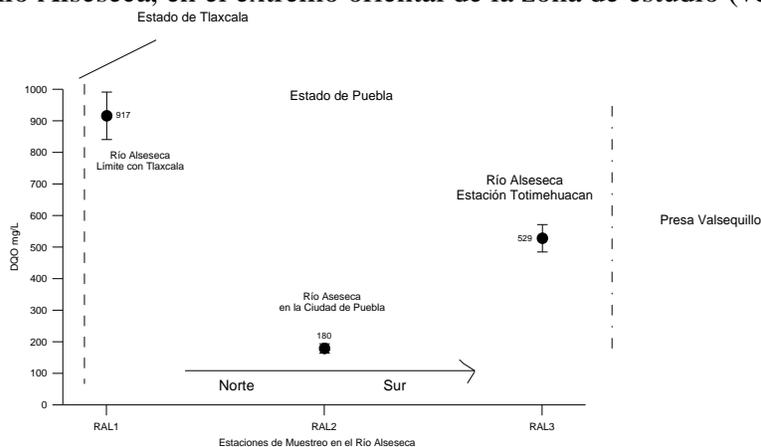


Figura 6. Gráfica de DQO correspondiente a muestras recolectadas en el Río Alseseca.

La concentración de DQO en el Río Alseseca, es de 180 a 917 mg/L, lo que representa un considerable aumento comparado con la concentración del Río Atoyac. Dicha concentración podría estar presente en el Río Alseseca una vez que sus aguas pasan por los parques industriales del nororiente de la Ciudad de Puebla. La Estación RAL2 con 150 mg/L presenta la concentración más baja de la serie Alseseca; ya que antes de descara sus agua a la Presa Manuel Ávila Camacho y después de pasar por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales entrega una carga de demanda química de oxígeno de 529 mg/L en la Estación RAL3 (ver Figura 6).

Los datos aquí reportados, al igual que los de DBO<sub>5</sub> son un reflejo de lo que ha acontecido, en al menos en los últimos 9 años, a continuación se presentan datos de las determinaciones realizadas por la Gerencia de Calidad de Agua de la Comisión Nacional del Agua. Los

datos corresponden a tres series de tiempo del parámetro DQO para las Estaciones de Monitoreo Ambiental CNA: Autopista, Echeverría y Totimehuacan. Las estaciones monitorean el Río Atoyac, ya en confluencia con el Río Zahuapan, a la entrada y salida de la Cd. de Puebla (Estación La Autopista y Estación Echeverría respectivamente) y a la salida de la Ciudad de Puebla del Río Alseseca (Estación Totimehuacan), ver figura 7.

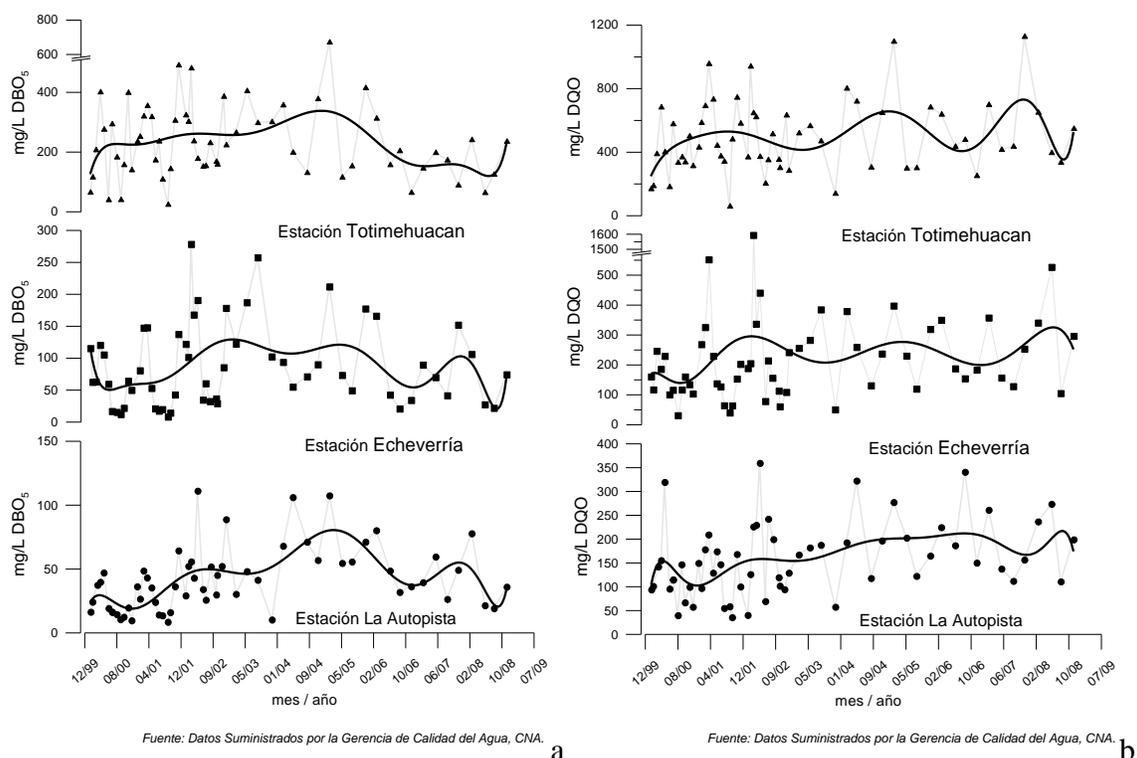


Figura 7. Series de Tiempo 1999-2008 de DBO<sub>5</sub> (a) y DQO (b) correspondiente a las Estaciones de Monitoreo Ambiental La Autopista, Echeverría y Totimehuacan (b) de la Gerencia de Calidad del Agua, CNA en el Río Atoyac (entrada y salida de la Ciudad de Puebla) y Río Alseseca (salida de la Ciudad de Puebla).

Los datos aquí presentados son ajustados con ortopolinomios que nos permiten descubrir las tendencias de estos parámetros en las diferentes estaciones de monitoreo ambiental. La tendencias son claras para los dos parámetros, el DBO<sub>5</sub> tiende a decrecer como un efecto de reducción en la plantas de tratamiento de aguas residuales (entran en operación en 2002), mientras que el DQO está incrementando su concentración, entregando cada vez más agua fuertemente contaminada, acentuando lo anterior en el Río Alseseca (ver figura 7).

Los datos aquí expuestos nos permiten relacionar los diferentes componentes y su estrecha correlación que tiene factores antes explicados, pudiendo destacar la importancia de los metales como grupo y su relación con los Sólidos Suspendidos Totales.

Ahora bien, las estaciones de muestreo se regionalizan con mucho detalle en las diferentes contribuciones que hacen los Ríos Zahuapan, Alseseca y Atoyac; y como la presa hace resumen de las diferentes aportaciones como una expresión de un vaso de captación, sedimentación y biofiltrado de los diferentes compuestos que ahí se depositan, transforman y almacenan.

## Conclusiones

- La Presa Manuel Ávila Camacho esta seccionada de forma natural por una península en San Baltasar Tetela, la cual genera un umbral que divide la hidroquímica e hidrodinámicamente el cuerpo de agua, seccionando la presa en la porción poniente y oriente, a este umbral se le ha denominado el Umbral de San Baltasar.
- El Río Atoyac, antes de confluir con el Río Zahuapan es el principal aportador de carga en la demanda química de oxígeno, mientras que el Río Alseseca es el principal aportador de demanda bioquímica de oxígeno.
- El Río Atoyac, antes de confluir con el Río Zahuapan es el principal aportador de metales de origen antropogénico, mientras que el Río Alseseca contribuye significativamente con potasio.
- De acuerdo con el comportamiento de la concentración de los contaminantes evaluados antes de ingresar a la presa y posteriormente en ella, se puede presuponer que la Presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo) se comporta como una gran planta de tratamiento de aguas residuales.
- El funcionamiento de esta planta es de tipo biofiltro, en el cual el lirio acuático tiene el papel más importante por la retención de metales, y la significativa disminución de parámetros de demanda química y bioquímica de oxígeno; sin embargo no para los sólidos disueltos totales.
- La Presa Manuel Ávila Camacho debe seguir funcionando como un depurador de metales y seguir abatiendo los parámetros de demanda química y bioquímica de oxígeno para lo cual debe contemplarse su plan de manejo y sobre todo de mantenimiento de los lodos activados que hoy se acumulan en la parte poniente de la presa.
- Evitar la destrucción de lirios de forma mecánica o química que provoque que el lirio se deposite en el fondo de la porción poniente de la presa; ya que esto provoca efectos contrarios a la función de depuración que hoy cumple como servicio ambiental el vaso de la presa.
- La solución del saneamiento del embalse de la presa Manuel Ávila Camacho debe ser integral, en la cual deben estar incluidos los principales aportadores de contaminación al sistema fluvial que la confluye. No entender este enunciado a cabalidad podría estar causando problemas de exportación de contaminantes que hoy son retenidos en la presa y que podría ser vertidos a los distritos de riego aguas abajo.
- El proceso de depuración o saneamiento de la presa debe ser paulatino y sobre todo escalonado en el tiempo, ligado a las diferentes acciones, hoy programadas, a realizarse aguas arriba de la presa. La función de depuración y tratado de aguas residuales urbanas, industriales y domésticas que viene cumpliendo la Presa Valsequillo debe continuar bajo un programa de manejo e ingeniería que permita su saneamiento progresivo sin dejar de cumplir el servicio ambiental que hoy realiza.
- Entender que la remoción total del lirio podría causar la exportación de una importante carga en la demanda química y bioquímica de oxígeno así como la exportación de metales pesados a los distritos de riego aguas abajo.

## Bibliografía

- Alade G.A. and Ojoawo S.O. (2009) Purification of Domestic Sewage by Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) *International Journal of Environmental Technology and Management*, Vol. 10, Issue 3-4, pp 286-294.
- Bonilla F.N., M. N., M. A. Tornero C., Rocha G.R., C. Cabrera M., López O. J., Sánchez J.D. y Águila P.F. (2008) Evaluación de la Contaminación con Metales Pesados en Sedimentos de la Presa “Manuel Ávila Camacho”. *Memorias del Congreso ANCA, Universidad Autónoma de Morelos*, pp 1. *Abstract*.
- M. N. Bonilla y Fernández, P. Méndez S., M. A. Tornero C., C. Cabrera M., (2008) Calidad del Agua de la Presa Manuel Ávila Camacho “Valsequillo”, Puebla. *Memorias del Congreso ANCA, Universidad Autónoma de Morelos*, pp 1. *Abstract*.
- Cedeño-Valdés P.C., D.L. Téllez-Núñez, F. Pacheco-García, G. Rosano-Ortega y J.A. Ascencio-Gutiérrez (2008) Química y Fitoremediación de la Presa Manuel Ávila Camacho “Valsequillo”, Puebla, Pue. *Memorias del Congreso ANCA, Universidad Autónoma de Morelos*, pp 1-10.
- Chaudhri P., Kar, S., Gupta S.K. (2002) Impact of Municipal Industrial Liquid Waste on Water Quality and its Importance as Potential Water Recourses, *Journal of Scientific and Industrial Research* Vol. 61, Issue 11, pp 948-951.
- Díaz R. P., N. Bonilla y F., M. A. Tornero C., C. Cabrera M., Y. Ángeles C., J. González D. y E. Corona J. (2008) Calidad del Agua de la Presa Manuel Ávila Camacho Utilizada para el Riego de los Cultivos en el Distrito de Riego 030 “Valsequillo”. *Memorias del Congreso ANCA, Universidad Autónoma de Morelos*, pp 1-10.
- Domínguez-Mariani E., A. Carrillo-Chávez, A. Ortega and M.T. Orozco-Ezequiel (2004) Wastewater Reuse in Valsequillo Agricultural Area, Mexico: Environmental Impact on Groundwater. *Water, Air and Soil Pollution*, 155: 215-267.
- Kularatne R.K.A., Kasturiarachchi J.C. Manatuge J.M.A. and Wijeyekoon S.L.J. (2009) Mechanisms of Manganese Removal from Wastewater Comprising Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) Grown under Different Nutrient Conditions, *Water Environment Research* Vol. 81, No 2, pp 165-172 (8).
- Munavalli G.R. and P.S. Saler (2009) Treatment of Dairy Wastewater by Water hyacinth, *Water Science & Technology* Vol. 59, No 4, pp 713-722.
- Saldaña P., A. Lerdo de Tejada, Ma A. Gómez y R. López (2008) La Importancia de Incluir Análisis de Toxicidad en Descargas Industriales y Municipales que Afectan a los Cuerpos de Agua, *Memorias del Congreso ANCA, Universidad Autónoma de Morelos*, pp 1-11.