

Alternativas ecohidráulicas para la presa José Antonio Alzate con base en el comportamiento de sus parámetros de contaminación

SOFÍA GARRIDO HOYOS Y JUAN ANTONIO GARCÍA ARAGÓN*

Ecohydraulic Alternatives for the José Antonio Alzate Dam on the Basis of the Behavior of Pollution Variables

Abstract. *A comparative analysis of the principal physical-chemical variables of the José Antonio Alzate Dam in the State of Mexico is carried out, covering virtually the entire period of existence of the dam. The analysis emphasizes the necessity of more concrete action on the part of State and Federal Governments to improve the situation which has gradually worsened. One of the conclusions refers to the urgent necessity of reducing the presence of Phosphor and Nitrogen composites which show a threatening level of increase. It is also concluded that the mode of operation of the dam does not contribute toward a reduction of the concentration of the majority of pollution-indicators during the months of low water-level. A change in the mode of operation of the dam is recommended, and the necessary studies to reach a definition of optimal operation of the dam are described.*

Introducción

La presa José Antonio Alzate, primer embalse sobre el río Lerma, se terminó de construir en 1962. Se encuentra aproximadamente treinta kilómetros aguas abajo del puente de la carretera Toluca-México, sitio principal de descargas del corredor industrial Toluca-Lerma. La presa recibe en promedio 6.5 m³/s (CNA, 1995), de los cuales 5.2 m³/s provienen del río Lerma. De éstos, aproximadamente 1.5 m³/s son de origen industrial (INEGI, 1994) y la única planta dedicada a tratar este tipo de aguas, EPCCA, sólo tiene capacidad para 0.3 m³/s. Del resto, 5 m³/s son de origen doméstico y 2.5 m³/s son tratados en las dos macroplantas de la ciudad de Toluca y aproximadamente 0.2 m³/s adicionales en las plantas de tratamiento de las pocas poblaciones que cuentan con

ellas. Grandes centros urbanos como Santiago Tianguistenco y Tenango del Valle carecen de tratamiento para sus aguas. Aproximadamente 50% del influente a la presa no recibe ningún tipo de tratamiento previo y se compone principalmente de aguas residuales de origen doméstico e industrial; lo que pone de manifiesto la deficiente calidad de agua en la presa. En efecto se puede hablar de un alto grado de eutrofización de la presa Alzate como lo demuestran los parámetros de calidad de agua que analizaremos en este artículo.

Se ha recopilado la información sobre calidad de agua que obtuvo la Comisión Nacional del Agua desde 1980 hasta fines de 1995. Esta información que es dispersa, pues la CNA sólo efectúa muestreos trimestrales y sin una periodicidad fija, fue tratada estadísticamente. Los datos así obtenidos se compararon con los proporcionados por el único estudio sistemático efectuado con anterioridad, a cargo del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Martínez, 1970) solicitado por la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos.

I. Metodología

La Comisión Nacional del Agua determinó algunos puntos de muestreo de calidad en la cuenca alta del río



* Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería, UAEM. Tel.: (729) 6 55 50 y 6 55 51. Correo electrónico: jgarcia@coatepec.uaemex.mx

Lerma y efectúa análisis fisicoquímicos de las aguas desde 1980. Entre estos puntos se han escogido tres representativos, que permiten evaluar el efecto de la presa sobre la calidad del agua del río Lerma. Éstos son:

- Puente carretera Toluca-Temoaya. Situado 1 km aguas arriba de la presa José A. Alzate y que es por lo tanto representativo de la calidad del agua del principal influente de la presa, el río Lerma.

- Cortina de la presa José A. Alzate. Este punto de muestreo presenta resultados relativos a la calidad del efluente, aun sin el efecto oxigenador de la descarga por el vertedero.

- Puente DIF Solís. Localizado en Temascalcingo, muestra el efecto depurador del tramo Presa J. A. Alzate-Atacomulco y es un indicador de la calidad del agua que sale de la cuenca alta del río Lerma.

Los parámetros de calidad de agua que se estudiaron son los siguientes: DBO, DQO, oxígeno disuelto, temperatura, pH, nitrógeno y fósforo. Éstos se escogieron además de su importancia como indicadores de la contaminación de la presa, porque también fueron analizados por el equipo del Instituto de Ingeniería de la UNAM en 1970 y por lo tanto se pueden efectuar comparaciones y determinar su evolución en el tiempo.

Todos los resultados de la CNA fueron volcados en una base de datos. Ésta se clasificó por parámetro fisicoquímico y por mes y año de muestreo. En vista de la

influencia de los niveles del embalse que fluctúan drásticamente según la época del año, el análisis estadístico se efectuó con series parciales mensuales. Se determinaron media, varianza y desviación estándar de cada uno de esos parámetros.

II. Resultados del análisis estadístico

1. Influencia de la temperatura

La temperatura ejerce gran influencia en todas las reacciones químicas y bioquímicas que se producen en la naturaleza, pues afecta a los microorganismos, controla la velocidad de reacción, influye sobre la solubilidad del oxígeno, etcétera (Metcalf & Eddy, 1995).

En la figura 1, se observa que en el tramo puente carretera Toluca-Temoaya se alcanzan temperaturas próximas a 20°C durante mayo, junio y agosto, debido al aumento de la temperatura en esta época del año, y sumado a la descarga de aguas residuales industriales a temperaturas mayores. De noviembre a marzo, en los tres tramos se presentan temperaturas más bajas, entre 13-16°C. Sin embargo, para febrero se observa un aumento hasta 20.75°C en la presa Alzate. Este aumento puede ser por el proceso de contaminación. Los valores de desviación estándar son; $\sigma=1.9849$, 2.4949 y 2.1952 respectivamente para cada uno de los tramos.

2. pH

El pH tiene una influencia menor sobre la actividad biológica que la temperatura ya que las células están adaptadas para regular su concentración interna de iones hidrógeno (H^+) frente a condiciones adversas (Bayley, 1977).

Como lo muestra la figura 2 en general el pH se mantiene entre siete y ocho unidades; el pH más bajo se da en agosto para los tramos de puente carretera Toluca Temoaya y la presa Alzate. En parte, esto se debe a la temporada de lluvias, lo cual se suma a que el primer tramo sufre las descargas industriales continuas de tipo ácido, coincidiendo estos resultados con los de Martínez *et al.* (1970). En el tercer tramo puente DIF Solís, se observa un pH mayor, valores próximos a ocho; en parte se debe a la oxidación de sales que producen anhídridos básicos que reaccionan con el CO_2 para dar bicarbonatos, principalmente bicarbonato amónico, los cuales actúan como buffer a un pH de ocho. Los valores de desviación estándar son $\sigma=0.29$, 0.3637 y 0.3706, respectivamente para cada tramo.

3. Oxígeno disuelto

En el primer tramo, el oxígeno disuelto (OD) alcanza valores por debajo de 2 mg/l durante todo el año, debi-

FIGURA 1. VARIACION DE LA TEMPERATURA EN LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA CUENCA DEL RÍO LERMA.

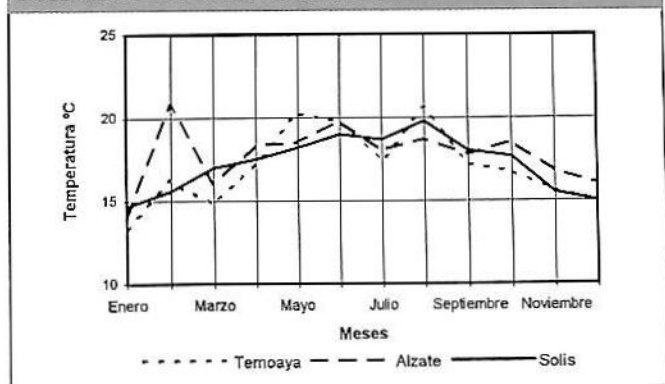
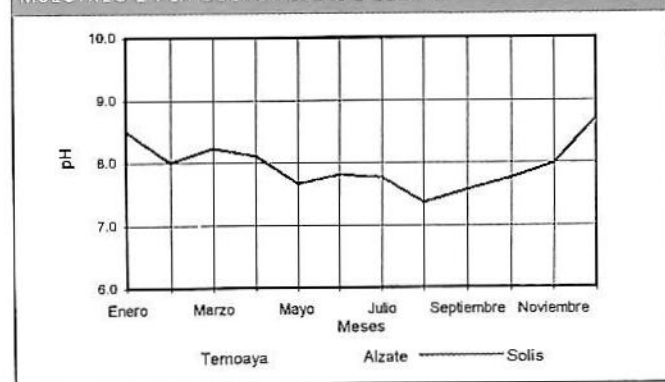


FIGURA 2. VARIACION DEL pH PARA LOS TRES PUNTOS DE MUESTREO EN LA CUENCA DEL RÍO LERMA.



do a las descargas de aguas industriales, lo cual hace que este tramo trabaje en condiciones casi anaerobias.

Se puede decir que para el último tramo a la salida de la presa (puente DIF Solís) se tiene en general una elevación del OD, debido a: a) un mejoramiento en las condiciones de calidad del agua, b) la turbulencia que se produce en las obras de descarga y c) a la mayor pendiente del río. El OD tiende a su valor de saturación para los meses en que se presentan menores temperaturas debido a su mayor solubilidad en el agua (enero=10.61 mg OD/l). Para el resto del año se observa un valor medio de 4.5 mg/l, esto nos indica que existe una apreciable contaminación, ya que hablamos de valores a la mitad de sobresaturación del OD. Los valores de desviación estándar son; $\sigma=2.6543$, 2.6348 y 2.6755, respectivamente para cada tramo.

Por lo tanto, en caso de existir interés de preservar la vida piscícola se debe limitar la concentración mínima de OD a 5 mg/l y si lo que interesa es evitar las condiciones sépticas, el nivel debe ser como mínimo de 3 mg/l.

Martínez *et al.* (1970), realizó un estudio de la capacidad de oxidación en el tramo comprendido entre los puentes de las carreteras México-Toluca y Toluca-Temoaya, la cual se calcula a partir de la cantidad de oxígeno que por difusión puede captar el río de la atmósfera, por unidad de tiempo. Los resultados muestran que para abril y noviembre (el mes más seco y el de mayor caudal), tienen capacidades globales de absorción de oxígeno de 2,160 y 3,410 Kg/día respectivamente.

En noviembre se obtiene una DBO total de 3,340 Kg/día. Al comparar el total anterior con los 3,410 Kg/día que puede tomar el río de la atmósfera, se ve que estos últimos apenas cubren la demanda. Es por esto que el tramo carretera Toluca-Temoaya tiene condiciones sépticas aun en época de avenidas.

En abril, se encontró una demanda total de oxígeno de 9,600 Kg/día, que comparada con los 2,160 Kg/día que puede absorber el río da una idea de las condiciones tan desfavorables que se presentan en estiaje.

4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Se aprecia claramente que a medida que el río fluye, los valores de la DBO disminuyen; valores aproximados de 248 a 14.35 mg/l. Como se puede observar en la figura 3, en julio hay un buen porcentaje de remoción del 94.21% de la materia orgánica expresada como DBO. Para el resto de los meses existe una buena oxidación biológica de la materia orgánica. Con respecto al estudio realizado por Martínez *et al.* (1970), los valores de remoción de la materia orgánica son superiores a los obtenidos en el presente estudio; esto nos demuestra un incremento de la contaminación.

5. Demanda química de oxígeno (DQO)

De la misma forma que para la DBO, se presenta una oxidación de la materia orgánica hasta un 90% expresada como DQO. En la figura 4 se observa que en abril en el primer tramo se obtiene un valor de 573 mg/l, valor alto debido a las descargas de aguas industriales y al bajo nivel en que se encuentra el agua en los meses de estiaje. Se puede considerar a la presa como una laguna de oxidación en donde un alto porcentaje de materia orgánica se degrada. El mayor problema lo presenta aquella materia orgánica refractaria que no se degrada y continúa en la corriente aguas abajo. Los valores de desviación estándar son; $\sigma=114.8910$, 62.9729 y 29.2526, respectivamente para cada tramo.

6. Nitrógeno

En la naturaleza el nitrógeno puede encontrarse en cuatro formas: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos ($N-N_{org}$, $N-NH_3$, $N-NO_2^-$ y $N-NO_3^-$, respectivamente). Las dos primeras se presentan en aguas contaminadas. La descomposición por las bacterias transforma fácilmente el nitrógeno orgánico en amoniacal, y es un indicativo del tiempo de contaminación. En presencia de oxígeno, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitrito y éste a su vez rápidamente en nitratos que es la forma más oxidada en que se encuen-

FIGURA 3. PORCENTAJE DE REMOCIÓN EXPRESADO COMO DBO PARA LA PRESA ALZATE.

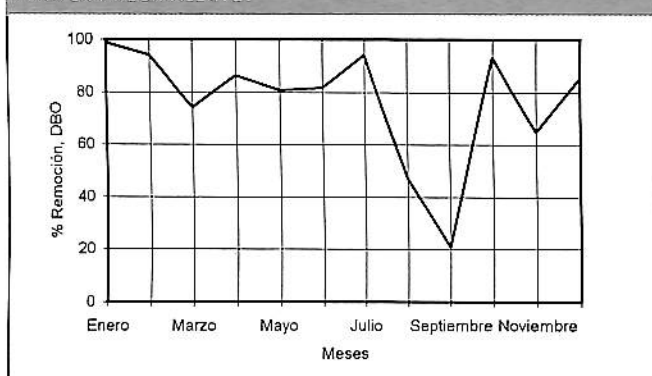


FIGURA 4. VARIACION DE LA DQO EN LOS TRES PUNTOS DE MUESTREO EN LA CUENCA DEL RÍO LERMA.

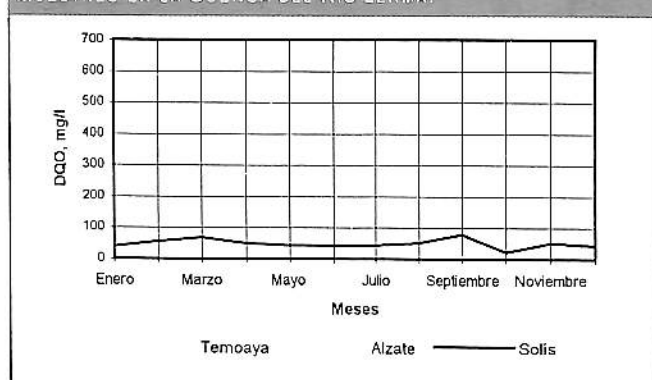
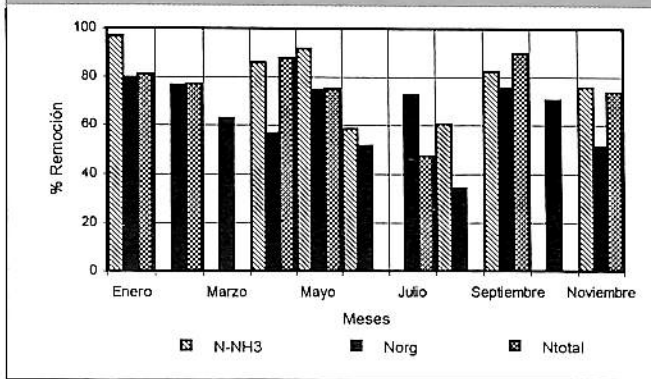


FIGURA 5. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITRÓGENO EN LA PRESA ALZATE.



tra el nitrógeno en el agua (Rheinheimer, 1987).

Las concentraciones para cada una de las formas en que se presenta el nitrógeno se encuentran en la tabla 1; el signo (-) significa que no se hizo análisis. Los valores de desviación estándar son; σ_{N-NH_3} =4.530, 26069 y 1.8507; σ_{N-org} =5.2537, 3.2481, 1.5047; σ_{N-NO_2} =0.2132, 0.6434, 1.0868; σ_{N-NO_3} =0.0174, 0.0074, 0.1318 y $\sigma_{N_{TK}}$ =14.93, 1.81, 0.21, respectivamente para cada tramo.

Según los datos observados en la tabla 1, la concentración de N-NH₃ en el influente de la presa en el periodo de febrero a mayo es alta, especialmente para marzo. Las Normas Oficiales Mexicanas para industrias que descargan aguas residuales que contienen N-NH₃, consideran el límite máximo permisible, como promedio diario de 20 mg/l e instantáneo entre 20-30 de mg/l. Se tiene que:

a) por una parte hubo contaminación debido a las descargas de aguas residuales, posiblemente de industrias del tipo: vidrio prensado y soplado, hierro y acero, etcétera, que se encuentran situadas a lo largo del corredor industrial Toluca-Lerma.

b) ha coincidido en que para los primeros cinco meses

del año, ha habido una producción alta de N-NH₃ a partir de bacterias proteolíticas que se encuentran en aguas contaminadas, sirviendo éste como fuente de N₂ a las nitrosobacterias que oxidan el NH₃ a NO₂⁻.

c) los valores altos de la concentración del N-N_{org} para los meses mencionados, como se observan en la misma tabla, han causado una tasa alta de amonificación.

Según los criterios ecológicos de la calidad del agua, publicados en el Diario Oficial de la Federación del 2 de diciembre de 1989, la concentración máxima admisible de N-NH₃ para la protección de la vida acuática en agua dulce es de 0.06 mg/l, lo cual no concuerda con la alta concentración de descarga de N-NH₃ permisible por la Norma Oficial Mexicana, con consecuencias graves para la vida acuática.

En la figura 5 se observa que el porcentaje de remoción del N-NH₃ es bastante bueno, pero para junio y agosto es del 58.52% y 60.71% respectivamente. Esto demuestra que la demanda de oxígeno para la oxidación a NO₂⁻ es alta, lo cual coincide con los valores bajos del OD para estos meses de 3.12 - 4.00 mg/l. Lo anterior afecta la DBO que presenta un porcentaje de remoción bajo, 47.06% para agosto.

Para los NO₂⁻ y NO₃⁻ se observa que hay una mayor concentración para el efluente de la presa, para los NO₂⁻ de marzo a junio y para los NO₃⁻ de febrero a julio. En lo que respecta a la remoción, abril fue el que presentó un valor menor, que coincide con el nivel más bajo de agua en la presa.

Respecto al nitrógeno total Kjeldahl (NTK), como se aprecia en la figura 5, el porcentaje de remoción es alto. Para mantener un buen equilibrio de los nutrientes en este tipo de agua, el N_{NTK} debe ser una quinta parte de la DBO₅, para que las bacterias puedan asimilar la mate-

TABLA 1

CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO EN SUS DIFERENTES FORMAS, PARA LA PRESA ALZATE

	N-NH ₃ , mg/l		N-N _{org} , mg/l		N-NO ₂ ⁻ , mg/l		N-NO ₃ ⁻ , mg/l		N _{TK} , mg/l	
	INFLUENTE	EFLUENTE	INFLUENTE	EFLUENTE	INFLUENTE	EFLUENTE	INFLUENTE	EFLUENTE	INFLUENTE	EFLUENTE
ENERO	9.80	0.33	13.48	2.73	-	-	0.285	1.125	48.70	9.17
FEBRERO	16.35	-	5.88	1.38	-	0.069	0.593	2.920	68.00	15.5
MARZO	24.35	-	6.38	2.38	-	0.145	0.737	2.407	-	-
ABRIL	19.24	2.69	7.79	3.38	0.002	0.269	0.051	2.462	43.30	5.25
MAYO	14.25	1.19	19.94	5.11	0.005	0.161	0.105	0.877	37.70	9.30
JUNIO	9.21	3.82	5.07	2.46	0.027	0.114	0.475	1.440	-	-
JULIO	9.50	-	7.55	2.07	0.015	-	0.285	2.160	14.40	7.60
AGOSTO	4.40	1.73	4.55	3.00	-	0.085	1.015	1.863	-	-
SEPTIEMBRE	4.07	0.72	2.33	0.57	-	0.031	0.332	1.747	-	-
OCTUBRE	2.80	-	5.95	1.75	-	-	0.495	0.540	15.64	1.55
NOVIEMBRE	9.91	2.40	4.30	2.10	0.018	-	-	-	20.90	-
DICIEMBRE	0.40	-	0.40	-	0.20	0.24	2.40	2.60	-	-

ria orgánica presente en el agua. De la tabla 1 podemos concluir que las concentraciones siempre son mayores de la quinta parte que le corresponde, por lo tanto hay una relación $DBO_5: N_{NTK}$ de 100: 45.19 en la presa Alzate, como promedio anual.

7. Fósforo

Éste se determinó como fósforo inorgánico en forma de polifosfatos y ortofosfatos. Como fuentes tenemos a los residuos humanos, los detergentes y a los vertidos industriales. Los polifosfatos (orgánicos e inorgánicos) se hidrolizan total o parcialmente en solución acuosa, pasando a ortofosfatos. Biológicamente se favorece estas transformaciones, ya que los microorganismos degradan los compuestos orgánicos del fósforo, liberando PO_4^{3-} , por lo que para efectos prácticos, el fósforo soluble en el agua se puede decir que está en forma de ion ortofosfato PO_4^{3-} . El fósforo insoluble representa aproximadamente el 10% del fósforo total y es normalmente eliminado en gran parte en un proceso de decantación.

Junio presenta el menor porcentaje de remoción de fósforo (polifosfatos), seguido por agosto. Como se observa en la tabla 2, la remoción de fósforo no es muy alta en el resto de los meses, por lo tanto, pudo haber contribuido junto con el nitrógeno principalmente en mayo y junio a una eutrofización de la presa Alzate. Ya que para mayo hay una relación $DBO_5: N_{NTK}: P$ de 100: 37.67: 7.53, se aprecia que hay un exceso tanto de nitrógeno como de fósforo, donde la relación teórica es de 100: 5: 1.

Según la interpretación de los resultados, el comportamiento de la presa presentó un fenómeno de eutrofización, aproximadamente en el periodo de marzo a junio. De los estudios de metales disueltos en la presa Alzate, realizados por Barcelo *et al.* (1996), se tomaron como referencia tres zonas (A, B y C); posteriormente en abril de 1996 se realizó un estudio de la variación de la concentración de oxígeno disuelto a lo largo de un día (10 horas), en la zona C y a una profundidad de 20 cm.

Los resultados se pueden observar en la tabla 3; los valores de la concentración de oxígeno disuelto aumentan a medida que nos acercamos a las 13:40 horas y disminuyen a las 18:25 horas. Estas variaciones en la concentración de OD durante un día nos indican que un incremento comparativamente rápido en el suministro de nutrientes, en especial de nitrógeno y fósforo, los cuales se mantienen en sus niveles altos durante estos meses, dan origen a un aumento en el crecimiento de las algas que nos producen altas concentraciones de OD en su metabolismo fotosintético (Round, 1981).

Como posibles causas de la eutrofización tenemos:

a) La relación directa que se presenta entre mayor

concentración de $N-NH_3$ y el aumento de la concentración de NO_2^- y NO_3^- . Estos datos coinciden que para los meses de enero a mayo tenemos las mayores concentraciones de OD, el cual favorece la oxidación del $N-NH_3$ a las especies nombradas.

b) El aumento de la temperatura implica una mayor capacidad de nitrificación, para abril y mayo principalmente.

c) La concentración de NO_2^- tiene un aumento importante en abril y mayo; esto puede ser consecuencia de la explotación agrícola en la que se utiliza fertilizantes de una forma indiscriminada y al menor nivel de agua. Esta misma tendencia la aprecia Martínez *et al.* (1970), cuando la presa presentó una fuerte eutrofización en los meses de abril-junio.

d) Con el aumento de la concentración de NO_3^- , se alcanza la última etapa de la mineralización de los com-

TABLA 2

PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE FÓSFORO,
($\sigma = 1.4714, 0.8322$ Y 0.5292 RESPECTIVAMENTE)

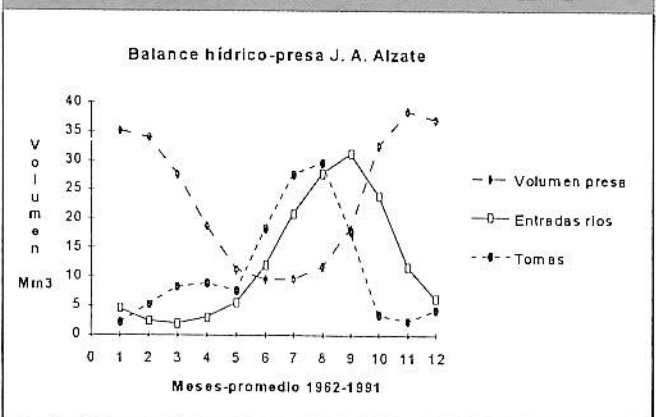
	% REMOCIÓN P, (POLIFOSFATOS)
ENERO	82.08
FEBRERO	68.35
MARZO	75.46
ABRIL	64.91
MAYO	73.08
JUNIO	38.02
JULIO	70.67
AGOSTO	64.33
SEPTIEMBRE	64.55
OCTUBRE	80.56
NOVIEMBRE	67.56
DICIEMBRE	81.25

TABLA 3

VARIACIÓN DEL OD EN LA PRESA, EN EL TRANCURSO DE UN DÍA

t, h	8:40	10:40	13:40	16:15	18:25
OD, mg/l	0	2.321	9.084	4.177	1.724

FIGURA 6. DATOS CNA HIDROLOGÍA PRESA J. A. ALZATE.



puestos orgánicos del nitrógeno, y se convierte en la fuente de nitrógeno para el fitoplancton.

III. Operación del embalse J. A. Alzate

El embalse de acuerdo a los criterios de operación de la CNA (SRH, 1978) funciona como reserva para irrigación de noviembre a abril y como depósito vacío para control de inundaciones de mayo a octubre. La figura 6, tomada de Barceló *et al.* (1996), muestra los valores de almacenamiento medios y las entradas y salidas medias en más de treinta años de operación del embalse.

Normalmente la presa se encuentra en niveles cercanos al mínimo de operación, 2561.2 msnm (8 Mm³), de mayo a agosto y en niveles cercanos al nivel de aguas máximas 2565.5 (35.3 Mm³) de noviembre a febrero. Durante los meses de lluvias, el caudal influente es totalmente evacuado con el fin de preservar volumen libre del embalse para almacenamiento en caso de crecidas y para suministrar agua para riego en los distritos del Bajío.

En cuanto a la calidad del agua para riego, se pueden hacer algunas consideraciones críticas a la operación actual del embalse. De mayo a agosto dados los débiles volúmenes de embalse, la dilución decrece significativamente y las concentraciones de contaminantes aumentan, como puede verse en los gráficos de DBO y DQO. La operación de CNA sólo contempla los compromisos de agua para riego en estados aguas abajo y no tiene en cuenta la disminución del efecto depurador del embalse. Conservar el embalse cerca del nivel mínimo de operación durante cuatro meses de lluvia no es justificable dada la calidad de agua que se requiere para riego.

Los estudios que se deben realizar para determinar una política de operación óptima del embalse deben considerar lo siguiente:

- Determinar las necesidades mínimas de riego y de caudal aguas abajo de la presa durante cada una de las épocas.
- Estimar los niveles mínimos de operación según la época del año para suministrar esa demanda.
- Evaluar la creciente de diseño en épocas de lluvia.
- Determinar el efecto amortiguador de la creciente en el embalse, considerando como nivel de base los mínimos de operación según la demanda de agua.
- Determinar la capacidad máxima del cauce del Lerma aguas abajo para evitar inundaciones.
- Evaluar la descarga máxima aceptable por el vertedor de demasías.
- Comprobar los niveles de operación estimados para que se cumplan las condiciones de demanda de agua y control de inundaciones.

Estos estudios requerirían de la participación conjunta de la CNA y otras instituciones académicas.

Conclusiones

De 1970 a la fecha, algunos índices de contaminación siguen preocupando. Esto se acentúa especialmente en los meses de aguas bajas del embalse, abril-agosto. Entre estos índices podemos citar los nitritos (NO_2^-) y el fósforo (PO_4^{3-}). Igualmente los porcentajes de remoción de DQO y DBO descienden drásticamente durante esos meses.

La eficiencia como laguna de oxidación de la presa Alzate se reduce en periodo de aguas bajas, el cual coincide con el de irrigación (más tomas del embalse). El riesgo para la salud de los usuarios del agua es pues mayor en estos meses.

Por otro lado no se encuentra plenamente justificada la forma de operación del embalse, pues se mantiene en niveles demasiado bajos en periodo de lluvias. ☹



BIBLIOGRAFÍA

- Bayley, J. and Ollis, D. (1977). *Biochemical Engineering Fundamentals*. McGraw-Hill, Inc. New York.
- CNA. (1995). *Datos hidrológicos del embalse José Antonio Alzate*. Comisión Nacional del Agua, delegación Estado de México. Toluca, México.
- Gallardo de Marco, A. (1994). *Procesos de tratamiento para la eliminación de nutrientes*. Jornadas internacionales sobre aguas residuales urbanas e industriales: depuración, gestión y reutilización. 13-15 de abril. Sevilla, España.
- Barceló, I.; García, J.; Avila, P. y Solís, H. (1996). *La Presa José Antonio Alzate y el desarrollo del Valle de Toluca*. I Simposio Internacional de la Ingeniería y el Desarrollo Sustentable. Universidad Autónoma del Estado de México. 21-25 de mayo. México.
- INEGI. (1994). *Las industrias del Estado de México por subsectores*. México.
- Martínez, P.; Zepeda, F. y Romero, F. (1970). *Estudio de la contaminación del agua en la cuenca del río Lerma*. México. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Jefatura de agua potable y alcantarillado. Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ing. de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*. Mc Graw Hill, España.
- Rheinheimer, G. (1987). *Microbiología de las aguas*. Acribia, S. A. Zaragoza, España.
- Round, F. (1981). *The ecology of algae*. Cambridge University Press, Cambridge.