

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Estudio de eutroficación de la presa valle de Bravo, México.
<i>Autor / Adscripción</i>	Víctor Olvera Viascán Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, (2-3): 148-161
<i>Fecha de publicación</i>	1992
<i>Resumen</i>	La presa Valle de Bravo, México, pertenece al sistema Cutzamala, el cual abastece de agua potable a la ciudad de México. El proceso de eutroficación en lagos y embalses abate la calidad del agua, limitando o impidiendo sus usos. En esta investigación se evalúa la eutroficación de esta presa, a partir de la metodología de muestreo propuesta por Castagnino en 1982, que incluye la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos en las aguas de los ríos tributarios, el lago y el efluente, los análisis de sedimentos, la medición de los perfiles de OD y la temperatura. Los resultados muestran que las descargas y el río Amanalco son la principal fuente de contaminación.
<i>Identificador</i>	<a href="http://hdl.handle.net/123456789/1223">http://hdl.handle.net/123456789/1223</a>

# Estudio de eutroficación de la presa Valle de Bravo, México

Víctor Olvera Viascán\*

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, CNA

*La presa Valle de Bravo, México, pertenece al sistema Cutzamala, el cual abastece de agua potable a la ciudad de México. El proceso de eutroficación en lagos y embalses abate la calidad del agua, limitando o impidiendo sus usos. En esta investigación se evalúa la eutroficación de esta presa, a partir de la metodología de muestreo propuesta por Castagnino en 1982, que incluye la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos en las aguas de los ríos tributarios, el lago y el efluente, los análisis de sedimentos, la medición de los perfiles de OD y la temperatura. La estimación de la cobertura, la densidad y el crecimiento de lirio acuático se efectuaron según la metodología desarrollada en el IMTA, así como su análisis químico. El estado trófico del embalse y sus posibles variantes se determinaron con base en el modelo simplificado para lagos cálidos propuesto por Salas y Limón (1986). Los resultados muestran que las descargas y el río Amanalco son la principal fuente de contaminación. La presa se clasifica como un lago cálido monomítico de segundo orden, con la termoclina a 8 m en verano, la clorofila *a* a un promedio de 29 mg/m<sup>3</sup> y una capa fótica de 5.23 m. Las principales cargas de *P* provienen del río Amanalco (57%) y la descarga El mercado (34%), las cuales, al ser controladas, podrían mejorar el embalse, cambiando su estado eutrófico actual a mesotrófico, e incluso, a oligotrófico.*

El incremento en la demanda de agua potable de la ciudad de México originó la elaboración del plan integral de abastecimiento denominado Sistema Cutzamala (SC), el cual aprovecha la infraestructura de presas y vasos reguladores del sistema hidroeléctrico Miguel Alemán, construido en 1944. El SC (véase ilustración 1) contempla un suministro de agua de 10 m<sup>3</sup>/s en tres etapas: la primera proporciona 4 m<sup>3</sup>/s de las presas Villa Victoria y Chilesdo; la segunda capta 7 m<sup>3</sup>/s de la presa Valle de Bravo y la tercera, abastecerá 8 m<sup>3</sup>/s de diversas presas (Anónimo, 1983). A fin de garantizar un buen suministro es necesario conservar la calidad del agua de las presas involucradas en el SC, para lo cual es indispensable clasificar tróficamente estos cuerpos de agua, con objeto de instrumentar medidas de conservación, manejo y, en su caso, de restauración. De esta forma, se eligió de manera inicial la presa Valle de Bravo, debido a su importancia de captación turística y

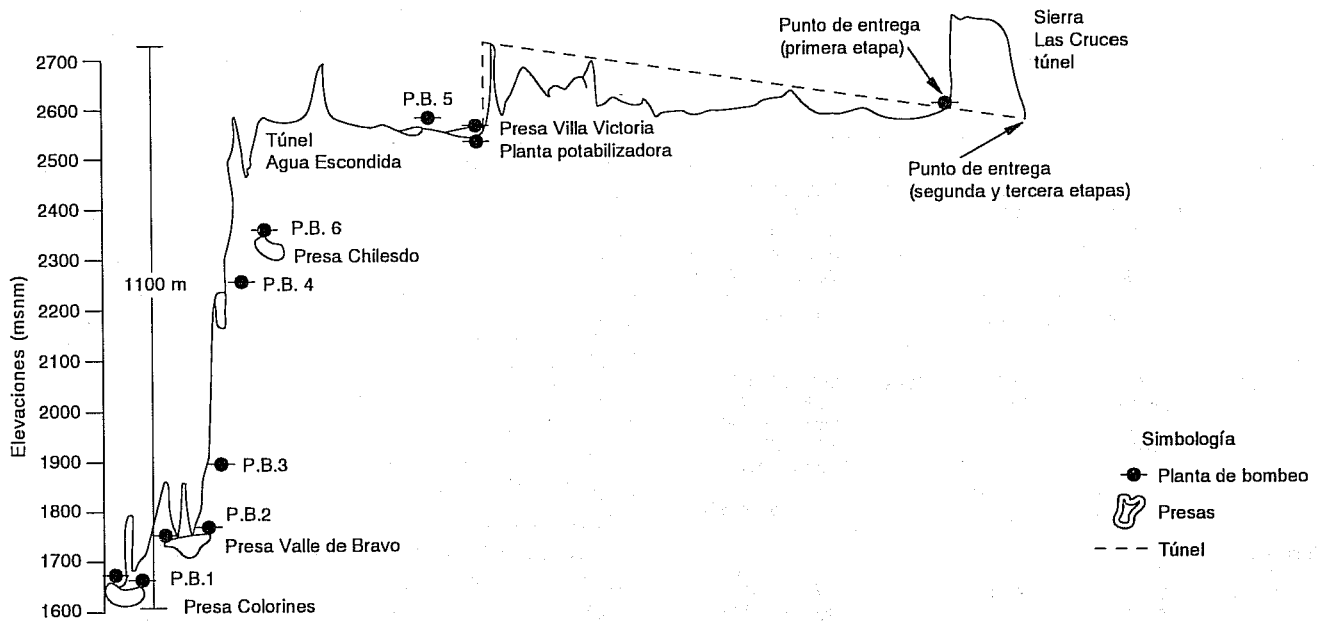
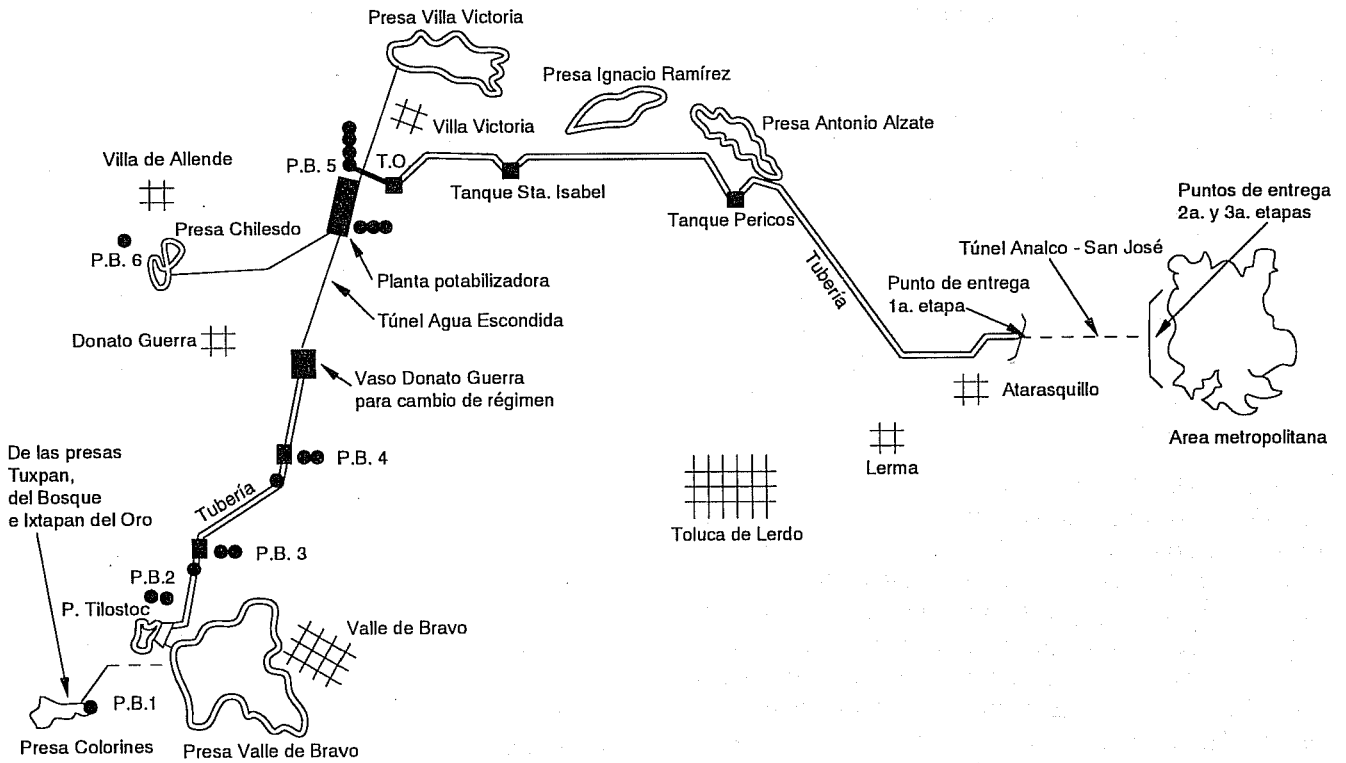
por presentar problemas de infestación debido a malezas acuáticas.

## Antecedentes

El proceso de eutroficación o enriquecimiento de los nutrientes de un lago origina un descenso en la calidad del agua, lo que limita, e incluso, impide sus usos.

En el suministro de agua, los niveles altos de algas y sólidos incrementan la cantidad de tratamiento y contribuyen al olor y sabor del líquido; además, la anoxia en las aguas profundas forma sustancias reductoras como *Fe*, *Mn*, *CH<sub>4</sub>*, *H<sub>2</sub>S* y *NH<sub>4</sub>*, causando problemas especiales en el tratamiento. Por otra parte, el crecimiento masivo de plantas vasculares acuáticas en los lagos eutróficos interfiere con sus usos recreativos (pesca, natación y navegación).

1. Sistema Cutzamala



\* Según Vázquez y Aguirre, 1986, pág. 45.

En las dos últimas décadas se han desarrollado investigaciones encaminadas a determinar el estado trófico de los lagos, principalmente de los templados, que contemplan factores como los límites paramétricos (véase cuadro 1), los Índices del Estado Trófico (IET) (Carlson, 1977; Shannon y Brezonik, 1973); los modelos complejos multi-paramétricos, así como las aproximaciones que relacionan la entrada de fósforo en un cuerpo de agua con sus propiedades morfológicas y balances de masas. Todo esto se describe en un trabajo del autor (en prensa). De estos modelos, el más utilizado es el de carga de nutrientes, derivado por Vollenweider (en 1968) y modificado por Dillon (en 1975), que cuenta con características intermedias de complejidad, seguridad y costeabilidad en su aplicación, en comparación con los modelos complejos, el IET y el de balance de masas.

El modelo de Vollenweider unifica y concluye los estudios previos encaminados a desarrollar una metodología estándar para expresar la entrada de nutrientes, principalmente fósforo (P), y su relación con el grado de eutroficación de los lagos. Desde entonces, este modelo fue confiable para los lagos con datos disponibles de carga de fósforo (L(P)); en la mayoría de los casos, la condición predictiva fue compatible con la condición observada a partir de criterios estándares

**1. Valores establecidos para la clasificación de lagos\***

Fósforo total mg/m <sup>3</sup>	Clorofila a mg/m <sup>3</sup>	Secchi m	% de Sat. de O <sub>2</sub> en Hipolimnio	Referencias	
<b>Oligotrófico</b>					
<10	<7	>3.7	>80	EPA-NES, 1974	
0.75-6	0.04-0.94	8-64	-	Carlson, 1977	
-	0.3-2.5	-	-	Sakamoto, 1968	
-	<4	-	-	NAS, 1972	
-	<4.3	-	-	Dobson, 1974	
≤10	$\bar{x}$ máx ≤8.0	$\bar{x}$ mín ≥6.0	≥3.0	Vollenweider, 1983	
<b>Mesotrófico</b>					
10-20	7-12	2-3.7	10-80	EPA-NES, 1974	
12-24	2.6-6.4	2.4	-	Carlson, 1977	
-	1-1.5	-	-	Sakamoto, 1968	
-	4-10	-	-	NAS, 1972	
-	4.3-8.8	-	-	Dobson, 1974	
10-35	$\bar{x}$ máx 2.5-8	$\bar{x}$ mín 3.6	1.5-3	Vollenweider, 1983	
<b>Eutrófico</b>					
>20	>12	<2	<10	EPA-NES, 1974	
48-768	20-1,183	0.062-1	-	Carlson, 1977	
-	5-140	-	-	Sakamoto, 1968	
-	>10	-	-	NAS, 1972	
-	>8.8	-	-	Dobson, 1974	
≥35-100	$\bar{x}$ máx 18-25	$\bar{x}$ mín 25-75	1.5-3	0.7-15	Vollenweider, 1983

\*Elaborado con datos de Salas 1983.

(pero arbitrarios) de transparencia (profundidad de Secchi), concentración de clorofila a, concentración de oxígeno en el hipolimnio, frecuencia de florecimientos algales, etc. Esta relación se acepta ampliamente como indicación del grado de eutrofia y, principalmente, como guía para establecer las cargas permisibles y peligrosas de P en los lagos.

La mayoría de los lagos y embalses en Latinoamérica es de tipo cálido; sus diferencias respecto a los lagos templados son:

- Una temperatura mínima de 10°C en condiciones normales y un promedio anual mínimo de 15°C;
- Las estaciones del ciclo anual se limitan a épocas lluviosas y secas;
- Los procesos biológicos son más acelerados por la alta temperatura;
- La presencia de macrofitas es más característica de los lagos cálidos, pudiendo llegar a ser más importante que las algas;
- Posibles diferencias en los regímenes de mezcla y estratificación;
- Además del P, el nitrógeno puede ser limitante por su metabolismo acelerado en los lagos cálidos, así como el carbono;
- En general, la tasa de evaporación y/o precipitación es más alta.

En los lagos cálidos, estas características limitan la aplicación de los modelos desarrollados para los lagos templados. No obstante, desde 1981 se ha desarrollado la metodología para evaluar la eutroficación en lagos cálidos, con base en el modelo de Vollenweider, tomando en cuenta las diferencias antes mencionadas. Esta metodología se sustenta en la aplicación de modelos simplificados, derivados de tres encuentros regionales latinoamericanos (Castagnino, 1982; Salas, 1983; Salas y Limón, 1986), bajo la asesoría del Dr. Richard A. Vollenweider.

En México, esta metodología fue aplicada en los lagos de Tequesquitengo, Mor., (Olvera y Díaz, en prensa); Chapala, Jal.; Zirahuén, Mich., y la Laguna de Cajititlán, Jal., como la aportación de nuestro país al proyecto regional.

Los estudios efectuados en Valle de Bravo son escasos; se pueden citar el realizado por la SARH (1973), en su *Boletín hidrológico* No. 49, donde se proporcionan la morfología y la hidrología de la presa; el trabajo de López (1971), que describe el basamento calcáreo de la cuenca donde se construyó la presa, actualmente cubierta por materiales

volcánicos; el elaborado por Bueno y Márquez (1975), sobre insectos acuáticos; el estudio realizado por la Comisión de Aguas del Valle de México (SARH, 1979), sobre el Sistema Cutzamala, y tres tesis de licenciatura sobre el plancton de la presa: Franco, (1981); Elías, (1983) y Chávez, (1986).

De acuerdo con Deguchi, *et al.*, (1980), la ictiofauna introducida a la presa Valle de Bravo está compuesta por trucha arcoiris, charal, pescado blanco, carpa común, carpa israel, kingyo, mojarra agalla azul, mojarra verde y mojarra africana.

En el contexto de sus antecedentes, el propósito de la investigación recogida en este artículo fue determinar el estado trófico de la presa Valle de Bravo, aplicando modelos simplificados para evaluar la eutroficación en lagos cálidos, de acuerdo con los parámetros morfológicos y la carga superficial de nutrientes, así como los parámetros físico-químicos y biológicos que permitan dar alternativas para la solución y conservación de la calidad del agua en el embalse, para sus usos recreativos y de abastecimiento.

#### Descripción de la zona de estudio

La presa Valle de Bravo se localiza en el municipio del mismo nombre, en el Estado de México, a 19°21'30" latitud norte y 100°11'00" longitud oeste, a 1830 msnm. Capta el agua de una cuenca de 546.9 km<sup>2</sup>, la cual presenta un clima (A) C (W<sub>1</sub>) (W), o sea, templado subhúmedo y semicálido, con una temperatura media anual mayor de 18°C, y la del mes más frío, menor a 18°C, con lluvias en verano, un cociente P/T entre 43.2 y 55.3 y una precipitación invernal entre 5% y 10.2% de la precipitación total anual. Fisiográficamente se constituye de lomeríos con mesetas; el suelo dominante es acrisol órtico y andosol húmico de textura media, con un lecho rocoso entre 10 y 50 cm de profundidad. La vegetación consiste en bosques de pino-encino, vegetación secundaria y agricultura de temporal (SPP, 1981).

Además del abastecimiento, la presa Valle de Bravo es un centro turístico importante, y significa un recurso vital para la economía de las poblaciones de Valle de Bravo y Avándaro, asentadas junto al embalse. La pesca deportiva y comercial de carpa, tilapia y trucha es un renglón fundamental.

De acuerdo con los datos proporcionados por la Comisión de Aguas del Valle de México, morfológicamente el vaso tiene un volumen de 335 millones de m<sup>3</sup> y cubre un área de 1730 ha; su longitud máxima es de 7.3 km, con un ancho máximo 6.3 km y una profundidad máxima de 35 m. El

clima en la presa y las áreas cercanas es (A) C W<sub>2</sub> (W) (i) g semicálido subhúmedo, con una precipitación media anual entre 800 y 1200 mm, una evaporación de 2000 mm y una temperatura media entre 18°C y 22°C. Hidrológicamente, el embalse presenta las siguientes aportaciones en millones de m<sup>3</sup>, de acuerdo con los promedios anuales de 1985 y 1986: lluvia, 14.5; río Amanalco, 90.0; río El Molino, 58.0; río González, 20.3; río Carrizal, 12.1 y río Santa Mónica, 4.2; las extracciones en millones de m<sup>3</sup> son: tomas, 153.8; evaporación, 27.8 y filtraciones, 21.6.

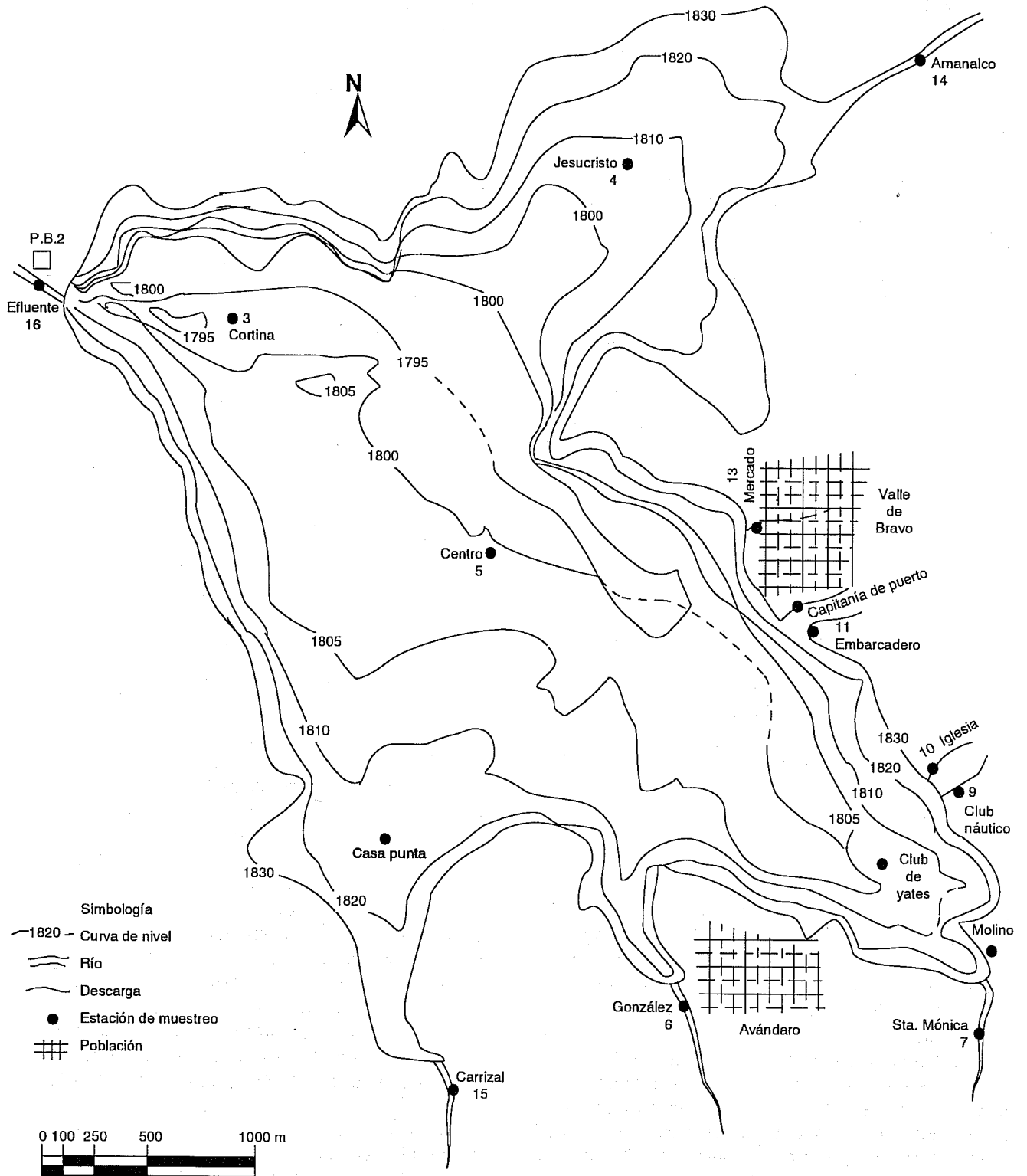
#### Metodología

Se estableció un total de 16 estaciones de muestreo: cinco en el lago, diez en los tributarios (cinco en ríos y cinco en descargas) y una en el efluente (véase ilustración 2). Las estaciones de los ríos se establecieron en los vertedores construidos para la medición de gasto, a cargo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). La frecuencia del muestreo fue mensual, de febrero a noviembre, con excepción de julio y septiembre, cuando fue quincenal, con el propósito de aumentar la frecuencia en la época de lluvias.

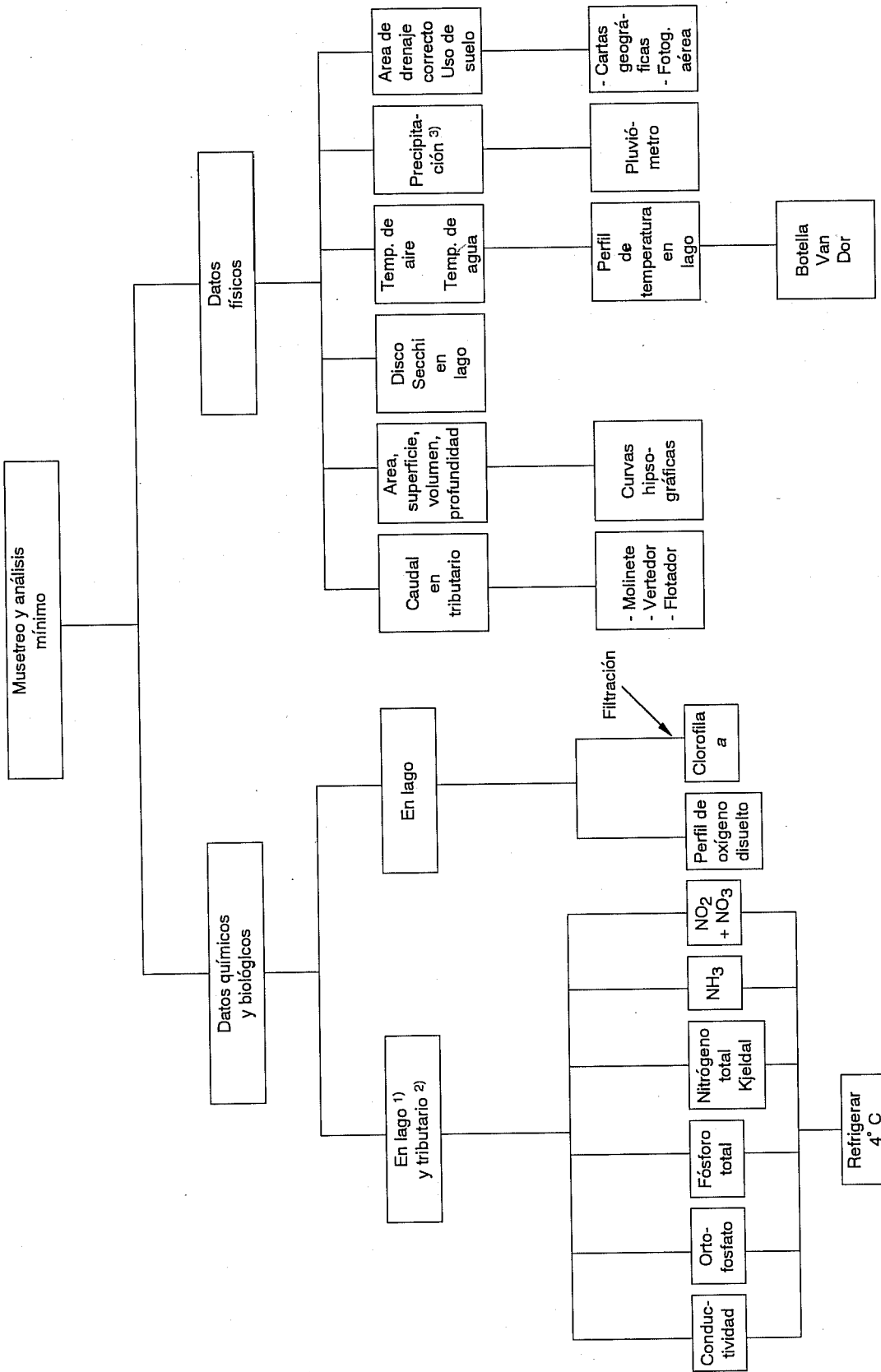
La metodología de muestreo y análisis del agua fue la propuesta por Castagnino (1982), la cual se sintetiza en la ilustración 3 y se describe a continuación.

En cada estación de muestreo se determinaron en campo los siguientes parámetros: temperatura del agua, pH, profundidad del disco de Secchi, profundidad total, condiciones del cielo, olor, burbujas y color del agua. Además, con el auxilio de la botella Van-Dorn, se obtuvieron las mediciones del perfil de temperatura, y con la botella muestreadora Winkler, las muestras para la medición del oxígeno disuelto. Las muestras para los perfiles se tomaron a cada dos metros, hasta 0.5 m del fondo, de acuerdo con la profundidad total del cuerpo de agua. Se obtuvieron dos tipos de muestras para los análisis físico y químico: la A, con una manguera que se introducía al doble de la profundidad de la lectura del disco Secchi, y la B, obtenida con la botella Van-Dorn, a un metro arriba del fondo. En ambas muestras se determinaron los siguientes parámetros, de acuerdo con métodos estándar (APHA, 1975): pH, turbiedad, color, DBO, DQO, P-orto, P-total, N-orgánico, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, dureza total, alcalinidad, conductividad, sólidos suspendidos fijos, sólidos suspendidos volátiles y clorofila *a*. Esta última, según el método de Lorenzen (1967). La muestra

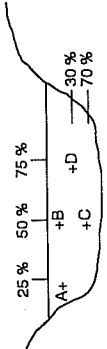
2. Estaciones de muestreo, presa Valle de Bravo, 1987



3. Metodología de muestreo y análisis mínimos para estudios de eutroficación



- 1) Tomar 2 muestras
- A: Método de manguera al doble de la profundidad
- B: Botella Van Dorn
- 2) Tomar muestra compuesta en A, B, C y D, total 3 litros
- 3) Medición de nutrientes necesarios si el aporte es significativo (NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, orto PO<sub>4</sub> y P total)



de lodos bentales se obtuvo con una draga Petersen; en estos lodos se determinó la cantidad de materia orgánica. En cada estación se obtuvieron muestras de agua en frascos previamente esterilizados, para el análisis de bacterias de nitrógeno y la cuenta estándar.

Para las muestras de los tributarios, las descargas de aguas residuales y el efluente, en cada estación se determinaron la temperatura del agua y del ambiente, el pH y el oxígeno disuelto en el campo. Además, se tomó una muestra compuesta para el análisis físico-químico y para determinar los parámetros de pH, turbiedad, DBO, DQO, P-orto, P-total, N-orgánico, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, sulfatos, dureza total, alcalinidad, conductividad y sólidos. Se realizó la medición del gasto de los escurrimientos usando vertedores, un molinete contrastado, llenado y flotadores, según lo ameritaba el caso. En las descargas se tomaron muestras para analizar las bacterias del nitrógeno y la cuenta estándar.

En adición a lo anterior, en cada muestreo se estimó visualmente la cobertura de lirio acuático en la presa, así como su densidad en kg/m<sup>2</sup> en tres sitios del embalse, para lo cual se extrajo la maleza contenida en un marco de madera de 1 m<sup>2</sup>, se escurrió durante cinco minutos y se pesó con un dinamómetro de 50 ± 1 kg. Durante los muestreos de febrero a agosto se llevaron al la-

boratorio muestras de 1 kg de lirio completo; 1 kg de cada una de sus partes (hoja, peciolo y raíz), donde se determinó su peso seco, secando a 105°C durante 48 horas; el nitrógeno y el fósforo se calcularon mediante los métodos del amarillo de molibdavanato y Kjeldahl modificado, respectivamente, según Jackson, (1970). Además, en corrales metálicos de 1 m<sup>2</sup> y 4 m<sup>2</sup> se midió *in situ* la tasa de crecimiento del lirio.

## Resultados

### Análisis físico-químicos del agua

Los resultados de los análisis físico-químicos por estación de muestreo se presentan en el cuadro 2, donde es notable la mala calidad de las cinco descargas y los ríos Amanalco, Santa Mónica y Carrizal, debido a sus altas concentraciones de materia orgánica, nutrientes y sales minerales en las descargas. En el embalse (lago), cabe resaltar la buena mineralización de los compuestos orgánicos y, por ende, la buena calidad del agua, con excepción de los rubros de color y turbiedad, que se reflejan en las bajas transparencias. El agua del efluente muestra una remoción del embalse del 40%, medida como DQO, y una exportación de nitrógeno mayor a la concentración promedio del lago, en forma de nitrógeno amoniacal, por el bajo OD encontrado en este punto.

2. Análisis físico-químico por estación de muestreo en el lago y tributarios (promedio anual), Valle de Bravo, México

Estación	Lago*			Ríos							Descargas			Ríos Toma		
	1 Club de yales	2 Casa- punta	3 Cortina	4 Jesucristo	5 Centro	6 González	7 Sta. Mónica	8 Molino	9 Club Náutico	10 Iglesia	11 Embarcadero	12 Capitanía de puerto	13 Mercado	14 Amanalco	15 Central	16 Efluente
Temperatura Ambiente °C	20.1	22.2	22.9	23.5	23.4	19.4	20.4	19.1	20.2	21.1	23.3	22.8	21.4	19.2	20	21.2
Temperatura del agua °C	20.6	20.8	23.0	23.4	23.4	16.3	16.3	16.3	18.1	19.3	19.1	19.3	20.1	19	16.9	23.4
OD mg/l	7.3	6.7	6.2	6.8	7.6	7.6	7.1	7.9	7.1	4.0	6.1	2.3	3.0	7.2	7.7	1.6
pH	7.1	6.9	7.1	7.0	7.0	7.3	7.3	7.1	7.2	7.0	6.9	7.3	7.0	7.0	7.3	7.0
Transparencia (Secchi) m	1.5	1.89	2.15	1.7	1.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbiedad (UTJ)	7.5	10.2	8.7	8.9	9.5	9.8	26	11.6	24.1	18.6	27.8	19.3	50.1	23.8	30.7	10.0
Color (ptCo)	18.0	11.0	23.0	43.0	30.0	28.0	79.0	28.0	31.0	35.0	30.0	21.0	71.0	40.0	85.0	33.0
DBO mg/l	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	5.0	7.0	4.0	11.0	6.0	1.0	2.0
DQO mg/l	13.0	9.0	18.0	14.0	14.0	15.0	16.0	17.0	21.0	41.0	55.0	41.0	96.0	40.0	18.0	13.0
P-orto mg/l	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.56	0.66	0.57	1.28	0.03	0.01	0.01
P-total mg/l	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.06	0.01	0.12	1.04	1.38	0.77	2.00	0.30	0.01	0.01
N-org. mg/l	0.48	0.46	0.46	0.43	0.47	0.22	0.65	0.26	0.66	1.28	2.68	0.805	5.02	1.15	0.68	0.436
NH <sub>3</sub> mg/l	0.07	0.12	0.12	0.14	0.19	0.02	0.02	0.01	0.05	0.162	2.37	1.78	3.14	0.18	0.05	0.290
NO <sub>2</sub> mg/l	0.007	0.004	0.026	0.017	0.016	0.376	0.185	0.216	0.190	0.180	0.298	1.385	0.474	0.583	0.185	0.057
NO <sub>3</sub> mg/l	0.006	0.008	0.008	0.008	0.008	0.025	0.027	0.047	0.012	0.105	0.104	0.217	0.077	0.027	0.020	0.013
SO <sub>4</sub> mg/l	3	2	2	3	3	2	2	3	3	7	9	9	15	5	5	3
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> ) mg/l	68	68	66	68	66	50	61	61	80	82	84	95	103	72	57	72
Alcalinidad mg/l	77	67	68	66	67	47	51	60	75	86	77	88	99	71	46	74
Conductividad μ mhos/cm	133	137	144	141	142	85	86	78	212	240	259	232	280	170	189	190
SSF mg/l	18	6	10	20	15	17	32	19	109	152	30	63	655	62	44	14
SSV mg/l	9	5	6	7	7	9	10	11	16	26	22	12	110	12	9	6

\*Promedio anual de muestras A y B (superficie y fondo)



Los promedios anuales del análisis físico-químico en las cinco estaciones del lago y la comparación de las muestras A (superficial) y B (profunda) se muestran en el cuadro 3. Con esto se corroboró la buena calidad del agua del embalse, ya que los valores encontrados no rebasan los límites establecidos por la legislación mexicana para fuentes de abastecimiento de agua potable, excepto en cuanto al color y la turbiedad, que originan una transparencia promedio baja, de 1.84 m. De acuerdo con ambas muestras, se pudo considerar una columna de agua mezclada, detectándose los efectos de una estratificación en el OD, turbiedad, color, pH, nitrógenos y sólidos suspendidos en verano.

Perfiles de temperatura y oxígeno disuelto

En la ilustración 4 se observan los perfiles de temperatura y OD obtenidos en la estación 3 (Cortina), y se pueden apreciar la homogeneización de estos parámetros por mezclado, en invierno, y la estratificación del lago en verano por la formación de una termoclina y oxiclina de 8 m de profundidad; el epilimnio, con un volumen de 125 x 106 m<sup>3</sup> se diferencia del hipolimnio, con uno de 210 x 106 m<sup>3</sup> y un OD menor a 2 mg/l, sin llegar a la anoxia.

Análisis de la clorofila a

La concentración máxima de clorofila a en el embalse fue de 52.8 mg/m<sup>3</sup> (febrero, estación 2) y una mínima de 10.5 mg/m<sup>3</sup> (julio, estación 3). En el promedio anual por estación de muestreo no hubo

diferencias significativas. El promedio anual fue de 29.2 mg/m<sup>3</sup> (véase cuadro 4). La profundidad eufótica media del lago es de 5.2 m y la mínima, de 3.4 m, calculadas según Vollenweider (Salas y Limón, 1986). De estos datos se deduce que el epilimnio (8.0 m) sólo fotosintetiza como máximo el 6.5%, ya que la luz es un factor limitante.

Bacteriología

Las bacterias del nitrógeno y la cuenta estándar se encuentran en el sistema como sigue:

	Fijadores de N UFC/100 (ml)	Amonificantes NMP/100 (ml)	Nitrificantes NMP/100 (ml)	Desnitrificantes NMP/100 (ml)	Cla. estándar UFC/100 (ml)
Descargas	600	38 x 10 <sup>6</sup>	4136	476 x 10 <sup>3</sup>	15 x 10 <sup>3</sup>
Lago	450	3 x 10 <sup>6</sup>	1423	20 x 10 <sup>3</sup>	9 x 10 <sup>3</sup>
Eluyente	1098	15 x 10 <sup>6</sup>	509	3 x 10 <sup>3</sup>	20 x 10 <sup>3</sup>

Lirio acuático (Eichornia crassipes, (Mart. Solms)

Esta planta vascular acuática en la presa presenta su mayor cobertura en la época de secas y la menor, durante las lluvias. Existe una correspondencia entre el nivel de agua de la presa, la cobertura y la densidad; a mayor nivel, mayor cobertura y menor densidad; a menor nivel, menor cobertura y mayor densidad. Por esto, la mayor densidad del lirio detectada (67 kg/m<sup>2</sup>) no corresponde a la mayor biomasa calculada, sino a la menor. La mayor biomasa del lirio en la presa ocurre en el mes de marzo, con 121 800 ton, correspondientes a la mayor cobertura detectada. En el cuadro 5

3. Análisis físico-químico de la presa Valle de Bravo, Edo. de México

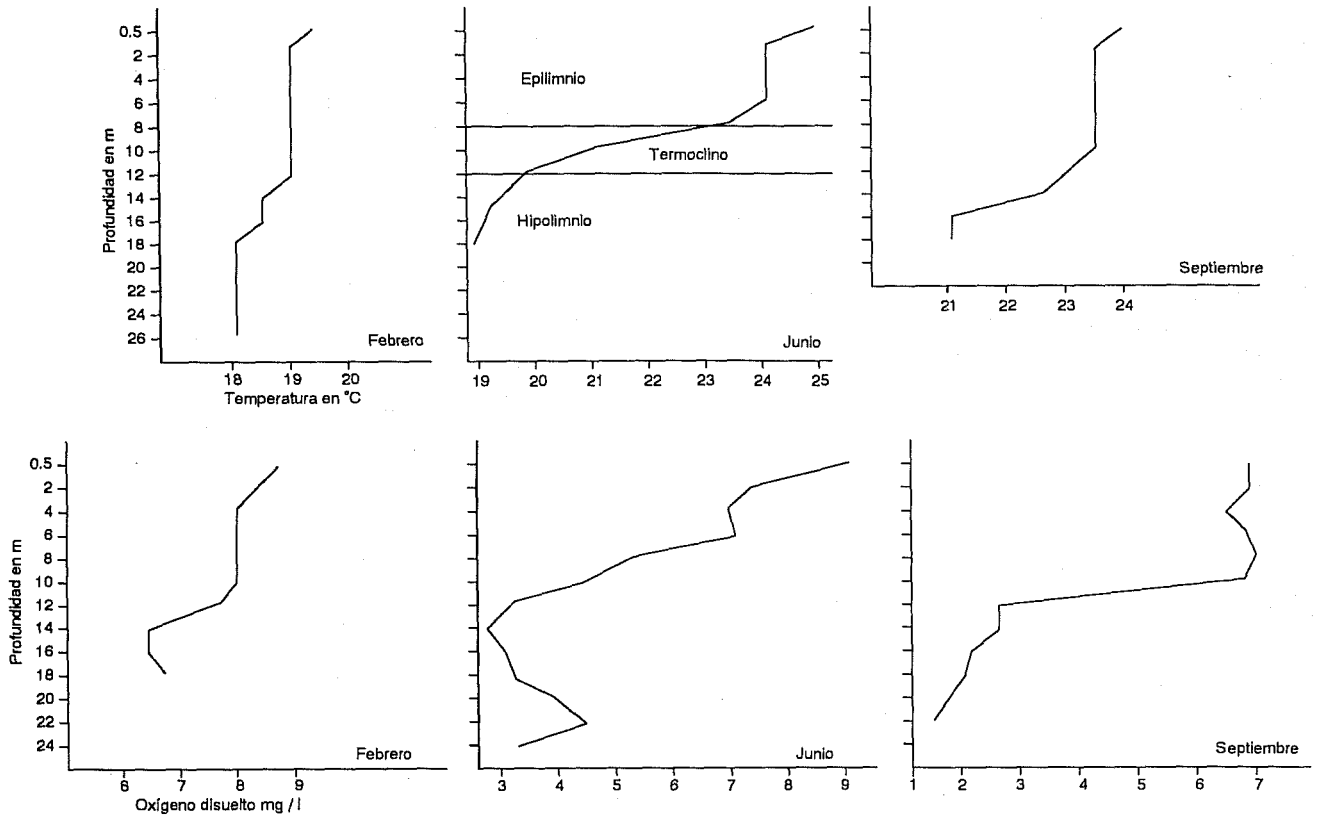
Parámetro	Unidades	Lago		Ambito	Muestra A		Ambito	Muestra B		Ambito
		Promedio	Desv. Std.		Promedio	Desv. Std.		Promedio	Desv. Std.	
Temp. ambiente	°C	22.400	± 1.300	16.000	-	26.000	-	-	-	-
Temp. del agua	°C	23.000	± 2.000	19.000	-	26.000	22.500	± 1.900	19.000	-
Transparencia	m	1.040	± 0.350	0.900	-	2.700	-	-	-	18.000
OD	mg/l	6.900	± 0.900	3.000	-	8.900	7.000	± 1.300	3.000	-
pH	-	7.100	± 0.800	6.000	-	8.000	7.800	± 0.800	6.000	-
Turbiedad	ppa/SiO <sub>2</sub>	9.200	± 3.700	1.500	-	38.000	8.100	± 3.100	1.500	-
Color	Pt Co	26.000	± 35.000	0.000	-	250.000	9.000	± 6.000	0.000	-
DBO	mg/l	2.000	± 1.800	< 1.000	-	10.000	2.000	± 0.600	< 1.000	-
DQO	mg/l	14.000	± 11.000	< 5.000	-	90.000	15.000	± 11.000	< 5.000	-
P-orto	mg/l	< 0.010	-	0.100	-	-	< 0.010	-	< 0.010	-
P-total	mg/l	< 0.010	-	< 0.010	-	0.160	< 0.010	-	< 0.010	-
H-org	mg/l	0.460	± 0.290	0.060	-	1.960	0.440	± 0.240	0.060	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	0.130	± 0.040	< 0.050	-	1.680	0.110	± 0.340	< 0.050	-
NO <sub>3</sub>	mg/l	0.014	± 0.009	< 0.001	-	0.233	0.005	± 0.012	< 0.001	-
NO <sub>2</sub>	mg/l	0.008	± 0.001	< 0.001	-	0.106	0.019	± 0.059	< 0.001	-
SO <sub>4</sub>	mg/l	2.000	± 1.000	1.000	-	6.000	2.000	± 1.000	1.000	-
Dureza total	mg/l	67.000	± 15.000	29.000	-	115.000	66.000	± 15.000	29.000	-
Alcalinidad	mg/l	68.000	± 6.000	43.000	-	92.000	68.000	± 6.000	57.000	-
Conductividad	µ mhos/ca	142.000	± 15.000	117.000	-	218.000	142.000	± 14.000	119.000	-
SSF	mg/l	15.000	± 16.000	0.000	-	101.000	10.000	± 9.000	0.000	-
SSV	mg/l	7.000	± 3.000	0.000	-	25.000	6.000	± 2.000	0.000	-

Nota: Se dan los promedios anuales de las estaciones en el lago

Muestra A.- Superficial

Muestra B.- Fondo

4. Perfiles de temperatura y oxígeno disuelto para la presa Valle de Bravo, México, 1987



4. Concentración de clorofila a en mg/m<sup>3</sup>, Valle de Bravo, 1987.

Mes	Estación					PROM
	1 Club de Yates	2 Casa-Punta	3 Cortina	4 Jesucristo	5 Centro	
Febrero	43.4	52.8	43.4	51.6	37.8	45.5
Marzo	31.8	22.1	37.4	28.4	24.3	28.8
Abril	31.8	28.8	26.2	27.7	26.2	28.1
Mayo	22.8	32.2	38.2	39.3	38.9	34.3
Junio	34.1	22.1	34.4	-	22.5	28.3
Julio	39.3	17.6	32.2	30.3	33.3	30.5
Julio	-	12.0	10.5	12.0	21.0	13.9
Septiembre	19.1	19.5	23.2	18.7	31.1	22.3
Septiembre	32.2	13.1	17.2	26.2	47.2	27.2
PROM	31.8	24.5	29.2	29.3	31.4	Anual 29.2

aparecen los cambios en la biomasa del lirio, con coberturas que van del 2% al 25% del área total de la presa y densidades de 17 kg/m<sup>2</sup> a 67 kg/m<sup>2</sup>, lo que da una biomasa promedio de 50 000 ton. Al norte del embalse se encuentra la mayoría de la biomasa del lirio, en tanto que el resto se distribuye de manera homogénea en la presa. Los vientos dominantes del noroeste originan oleajes fuertes. Estos dos factores podrían ser limitantes para el lirio, debido a la fuerte influencia en su distribución.

El análisis químico del lirio reveló los siguientes promedios anuales: humedad, 94.9%; fósforo (peso seco), 0.086% y nitrógeno (peso seco), 1.479%. Los resultados del análisis químico de la planta completa en comparación con la sumatoria de sus partes (pecíolo, hojas, raíz), fueron similares, encontrándose una correlación de 0.8.

La tasa de crecimiento del lirio acuático en la presa Valle de Bravo, medida en los corrales, fue calculada de acuerdo con Romero, *et al.*, (1988) y con los siguientes datos:

Fecha	Tiempo (días)	N(Kg/m <sup>2</sup> )*
8 - oct-87	0	1
9 - nov-87	31	1.819
10 - dic-87	62	2.175

\*Promedio de cuatro mediciones, N = densidad de la planta.

Dicha tasa resultó de 0.052 día<sup>-1</sup> para el otoño, con una capacidad de carga de 2.287 kg/m<sup>2</sup>.

Los lodos bentales en el embalse tienen un promedio de 14% de materia orgánica.

**5. Biomasa del lirio acuático en la presa Valle de Bravo, 1987**

Mes	Densidad Kg/m <sup>2</sup> (peso húmedo)	Cobertura (%)	Superficie del embalse (ha)	Biomasa Total de lirio (ton)
Febrero	17	20	1770	59500
Marzo	28	25	1740	121800
Abril	38	10	1720	65360
Mayo	45	5	1690	38025
Junio	40	5	1680	33600
Julio	59	5	1680	49560
Julio	67	2	1680	22512
Agosto	39	5	1710	33345
Septiembre	28	5	1730	24220
Septiembre	21	15	1740	54810
			Promedio	50271

*Cargas de P y N al embalse*

Las cargas de fósforo  $L(P)$  y nitrógeno  $L(N)$  debidas a los tributarios al embalse, y su obtención, se muestran en el cuadro 6, donde  $L(P) = 46.761$  ton/año y  $L(N) = 277.423$  ton/año. De estos datos se deduce que las principales fuentes de contaminación, de acuerdo con la carga de nutrientes, están representadas por el río Amanalco, con el 57% de  $P$  y 58% de  $N$  y la descarga El mercado, con 34% de  $P$  y 19.5% de  $N$ , lo que significa que entre los dos aportan el 91% de  $P$  y el 77.5% de  $N$  a la presa. A excepción del río el Molino con 10.8% de  $N$  y la descarga Embarcadero, con 4.3% de  $P$ , el resto de los tributarios resultan con aportes menores al 2% de  $P$  y 3.5% de  $N$ .

*Balance de P y N*

A partir de los resultados, las descargas de  $P$  y  $N$  en ton/año, para cada uno de los componentes del sistema son:

	P	N	N:P
Embalse	<3.350	305.020	
Tributarios	46.761	273.423	6:1
Efluente	<1.538	84.683	
Lirio	2.205	37.922	
Clorofila $a$	9.782	88.038	

Para realizar el balance de  $P$  es necesario considerar lo siguiente:

- Carga de  $P$  por tributarios =  $P$  en embalse +  $P$  en lirio +  $P$  en fitoplancton -  $P$  en efluente -  $P_s$  (pérdida de fósforo a sedimentos).

$$\bullet \frac{L(N)}{L(P)} = \frac{277.423}{46.761} = 6 < 9$$

- No se tiene el dato exacto de las cargas de  $P$  en el embalse y en el efluente, por lo que se busca la carga equivalente de  $P$ , de acuerdo con una proporción  $N : P$  de 9:1 (propuesta por Vollenweider para los lagos cálidos (Salas, 1983) basada en el balance de  $N$  y, finalmente, se calcula por diferencia la  $P_s$ . Por lo tanto, el balance de  $N$  es:

$$277.423 = 205.02 + 37.922 + 88.038 - 84.683 - N_s$$

$$N_s = -31.126 \text{ ton/año}$$

(pérdida de  $N$  a sedimentos).

Por deducción, la pérdida de  $P$  a sedimentos equivalente al  $N$  es:

$$P_s = \frac{-31.126}{9} - 3.458 \text{ ton/año}$$

El signo negativo indica una sedimentación de este nutriente y no una aportación de los sedimentos al embalse, por lo tanto, éste no se encuentra en equilibrio dinámico, sino que está experimentando acumulación.

*Clasificación trófica*

Considerando el modelo propuesto por Salas (Salas y Limón, 1986) para evaluar la eutroficación en lagos cálidos, el cual es:

$$P\lambda = \frac{L(P) T w^8}{\bar{z}^3} \quad (1)$$

donde:

- $P\lambda$  = concentración de  $P$  en el embalse, mg  $P/m^3$
- $L(P)$  = carga superficial de  $P$ , mg  $P/m^2$  /año
- $\bar{z}$  = profundidad media, 19.4 m (volumen/superficie)
- $T w$  = tiempo de retención, 2.18 años (volumen/gasto del efluente al año)

De acuerdo con el balance de  $P$  y  $N$ , la carga equivalente de  $P$  en los tributarios es:

$$L(P) = \frac{277.43}{9} = 30.83 \text{ ton p/año}$$

Considerando el área del embalse ( $17.3 \times 10^6$  m<sup>2</sup>), la carga superficial de  $P$  es:

$$L(P) = \frac{L(P)}{A} = 1780 \text{ mg p/m}^2/\text{año}$$

La concentración esperada en el embalse, de acuerdo con (1) es:

$$P\lambda = 57 \text{ mg P/m}^3$$

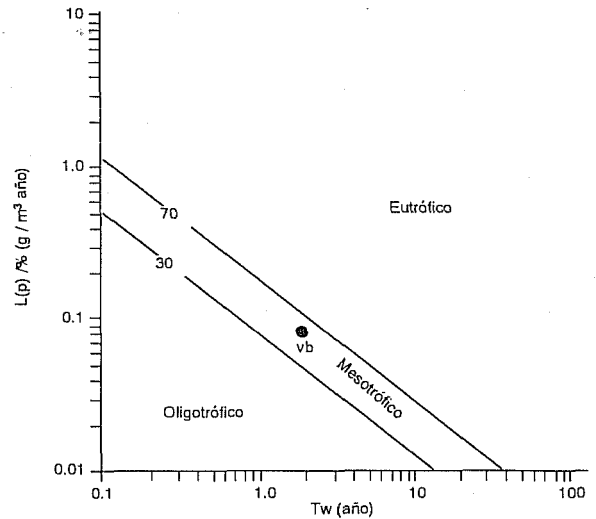
En la ilustración 5 se reproduce la gráfica de Salas (1986) de la clasificación trófica de lagos cálidos, en la cual, la presa Valle de Bravo, con  $L(P)/z = 0.092 \text{ g p/m}^3/\text{año}$  y  $T_w = 2.18$  años, la ubica como un embalse eutrófico.

Como se observa, la concentración calculada ( $57 \text{ mg P/m}^3$ ) es superior a la medida en el embalse ( $10 \text{ mg P/m}^3$ ). Esto sugiere que el sistema no se encuentra en estado permanente, ya que la biomasa de fitoplancton, lirio acuático y sedimentos almacenan  $P$ , que es el factor limitante del sistema, por lo que embalse no está en un equilibrio dinámico, sino acumulando  $P$ . Esto implica un aumento del nivel trófico y un deterioro si no se toman medidas al respecto.

#### Aproximaciones de solución

- Suponiendo que se desee lograr una  $P\lambda = 20 \text{ mg P/m}^3$  en el embalse, la carga necesaria para lograr esto sería de  $624 \text{ mg P/m}^2/\text{año}$  y,

#### 5. Estimación de la clasificación trófica para el embalse Valle de Bravo, México, 1987



de acuerdo con la superficie del embalse, esto equivale a una  $L(P)$  de  $10.88 \text{ ton/año}$  de  $P$  equivalente, o sea,  $97.2 \text{ ton P/año}$  actuales, lo que corresponde a una reducción del 65%.

- Si teóricamente se elimina el total de las descargas al embalse (lo cual es posible en la realidad), la  $L(P)$  sería de  $27.935 \text{ ton P/año}$ , provenientes de los cinco ríos, lo que daría una reducción del 40% de la carga actual. De acuerdo con (1), la  $P\lambda$  sería de  $44 \text{ mg P/m}$ , lo

#### 6. Cargas de P y N tributarios a la presa Valle de Bravo, Méx., 1987 y balance hidráulico y de nutrientes

Tributarios (Ríos)	Q m³/s	Q 10⁶ m³/s	P-Total mg/l	Carga de P Ton/año (%)	N-Total mg/l	Carga de N Ton/año (%)
Amaniaco	2.891	89.891	0.295	26.518 (57%)	1.800	161.840 (58%)
Molino	1.860	57.653	0.014	0.810 (2%)	0.518	29.968 (10.8%)
Sta. Mónica	0.134	4.152	0.064	0.266 (0.69%)	0.742	3.060 (1.0%)
González	0.652	20.280	0.011	0.220 (0.5%)	0.487	9.876 (3.6%)
Carrizal	0.389	12.084	0.010	0.121 (0.3%)		9.379 (3.4%)
<b>Total</b>		<b>184.260</b>		<b>27.935 (60%)</b>		<b>214.143 (77%)</b>
Effluente	4.944	153.773	< 0.01	1.538	0.551	84.683

Balance hidráulico de la presa Valle de Bravo, México, 1987 (en 10⁶ m³/año)

Concepto	Entradas	Concepto	Salidas
Tributarios¹	196.656	Toma¹	153.773
Lluvias²	14.5	Evaporación²	29.8
		Infiltración y otros³	27.583
	<b>211.156</b>		<b>211.156</b>

¹ Con base en los Q promedio para 1987

² Con base en el promedio de 1985 y 1986

³ Calculado por diferencia

Tributarios (Descargas)	Q m³/s	Q 10⁶ m³/s	P-Total mg/l	Carga de P Ton/año (%)	N-Total mg/l	Carga de N Ton/año (%)
Mercado	0.258	8.020	1.999	16.032 (34%)	6.733	54.003 (19.5)
Embarcadero	0.046	1.444	1.379	1.991 (4.3%)	3.963	5.722 (2.1%)
Capitanía de puerto	0.016	0.502	0.771	0.387 (0.8%)	2.701	1.396 (0.5%)
Club Náutico	0.074	2.297	0.121	0.277 (0.6%)	0.816	1.874 (0.7%)
Iglesia	0.004	0.133	1.041	0.139 (0.3%)	2.144	0.285 (0.1%)
<b>Total</b>		<b>12.396</b>		<b>18.826 (40%)</b>		<b>63.280 (23%)</b>

Q = gasto promedio de 1985 - 1986

Balance de P y N en la presa Valle de Bravo, Méx, 1987

Concepto	P Ton/año	Ton/año	N:P
Carga por tributarios	46.761	277.423	6:1
Effluente	< 1.538	84.683	55:1
Lirio acuático	2.205	37.922	17:1
Clorofila α	1.100	9.900	5:1
Asedimentos y otros			

¹ Con base en 2 564 Ton (5.1 % de peso seco en 50 271 Ton. de biomasa promedio de lirio) por 1.479 % de N y 0.096 % de P

que significaría una leve mejoría del embalse, ya que pasaría al estado mesotrófico.

- Ahora bien, si se considera la eliminación de las dos descargas más contaminantes, "Mercado" y "Embarcadero", que aportan el 38% del total del  $P$ , y además, el control del río Amanalco, que aporta el 57%, se lograría una reducción aproximada del 95% de  $P$ , resultando en una  $P\lambda = 13 \text{ mg } P/m$ , lo que daría posibilidades de que el nivel trófico descendiera hasta oligotrófico, que es lo deseable. La remoción del lirio acuático del embalse implicaría el control de 4% del total de  $P$ .

## Discusión

Las características físico-químicas del agua de Valle de Bravo permiten zonificar al embalse en cinco regiones: cortina, centro y tres más que coinciden con su morfología y la influencia de los ríos Amanalco, Carrizal y Molino, González y Santa Mónica.

La cantidad de partículas suspendidas, detectadas por turbiedad, es adecuada para la protección de la vida acuática, pero elevada para las cinco unidades máximas requeridas para el agua potable, lo que implica un aumento en los costos del tratamiento (coagulación, sedimentación y filtración). La gran erosión en la cuenca de la presa se manifiesta claramente en la época de avenidas, cuando se presentan vallas de turbiedad mayores de 1 500 unidades en algunos tributarios.

La materia orgánica en el sistema de lagos y tributarios, medida como  $DBO_5$ , se encuentra en el límite permisible propuesto por Arrignon (1979), para la protección de la vida acuática (6.0 mg/l), no así la  $DQO$ , que en todas las estaciones fue mayor. La  $DBO_5$  determina la porción carbonosa de la materia orgánica, esto indica que en Valle de Bravo está constituida básicamente por material nitrogenado, lo que se corroboró por la dinámica de las bacterias del nitrógeno y al comparar la  $DBO_5$  con la  $DQO$ . Considerando que la  $DBO_u \approx DQO$  (Sotelo, 1978), entonces en el sistema se presenta una fuerte nitrificación, ya que los valores de  $DQO$  son hasta 20 veces mayores a los de  $DBO_5$ .

El  $P$  en la presa es el factor que la limita en su productividad biológica; su asimilación instantánea por el fitoplancton y el lirio ocasiona valores  $<0.01 \text{ mg/l}$  durante casi todo el año. El  $N$  presenta una gran dinámica en el sistema. Las bacterias fijadoras de  $N$  no varían grandemente

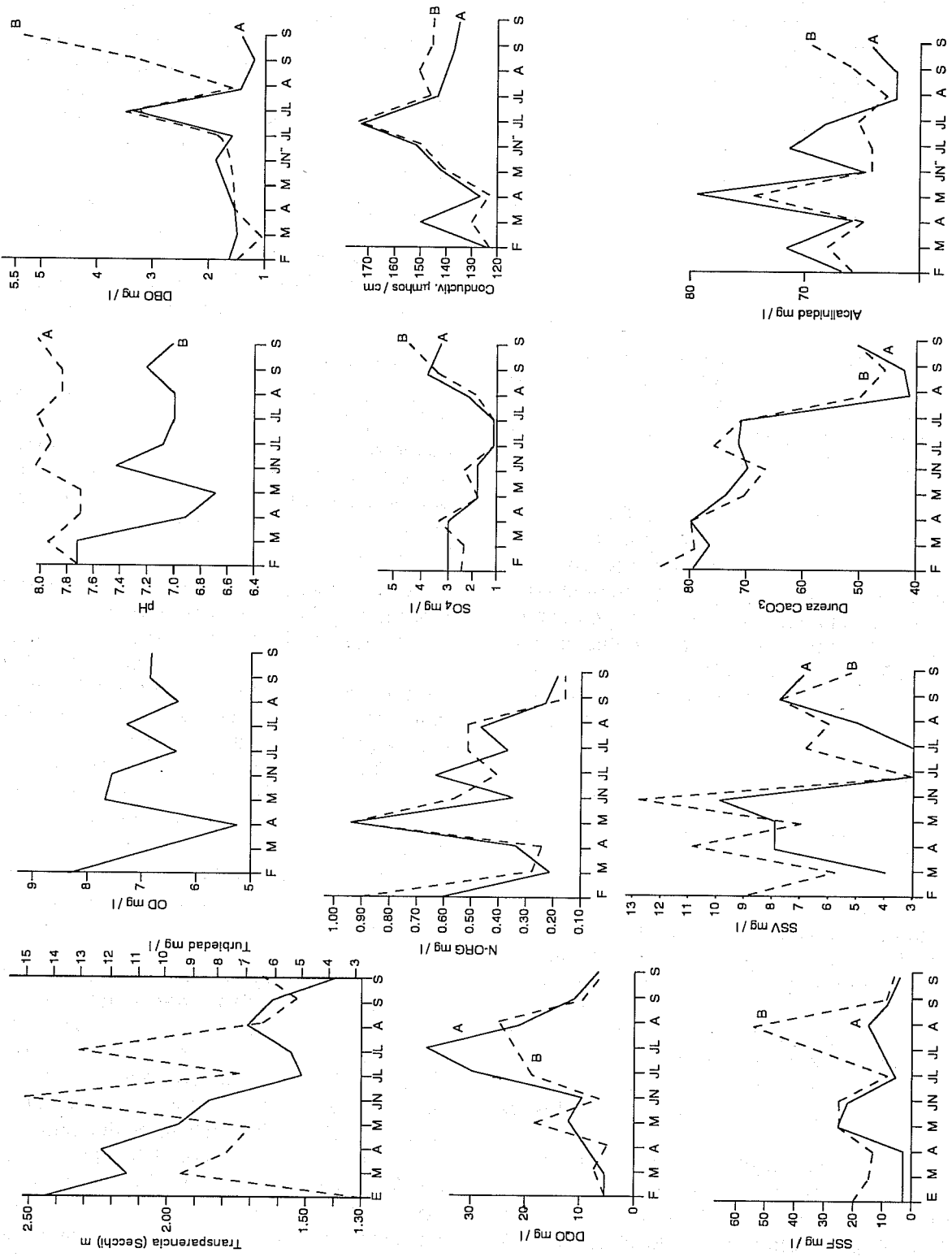
en los tributarios ni en el lago, pero en el efluente, casi se duplican. La mineralización del  $N$  orgánico se favorece por las cuentas altas de bacterias amonificantes y nitrificantes. La desnitrificación se lleva a cabo en el orden de  $10^3$ . La eficiencia de la remoción bacteriológica de la presa parece ser baja, e incluso se detecta una acumulación de bacterias, ya que por el efluente salen hasta 20 veces más bacterias, contabilizadas como cuenta estándar en UFC/100 ml, que es la suma de las descargas.

Los sulfatos son escasos tanto en los tributarios como en el embalse, pero juegan un papel importante como fuente de oxígeno (al igual que los  $NO_3$ ) en el fondo del lago, durante los meses de estratificación, cuando se abate el OD, otorgando al agua un olor típico a  $H_2S$ , que se forma favorecido por su bajo pH.

La temperatura promedio anual en el embalse, de  $15^\circ\text{C}$ , permite clasificarlo como cálido, y de acuerdo con sus perfiles de OD y temperatura, como monomóctico de segundo orden. Su transparencia de  $1.84 \pm 0.35 \text{ m}$  indica la posibilidad de que se trate de un embalse eutrófico, según Vollenweider (1983) (véase ilustración 6).

Por la experiencia en la zona, las mediciones realizadas y la comunicación con los lugareños, parece que la biomasa promedio de lirio en la presa no ha cambiado en varios años, lo que se atribuye a la fuerte influencia del viento, a los cambios en el nivel del agua, a la extracción mecánica de tres máquinas cosechadoras propiedad de la CAVM (SARH) y a la extracción manual por parte de la Cooperativa de Lancharos de Valle de Bravo. La aplicación del modelo desarrollado por Salas (1983) para evaluar la eutroficación en lagos cálidos, revela que la presa Valle de Bravo es eutrófica cercana a mesotrófica, de lo que se deducen las pautas de solución y conservación del sistema. Con esto se demuestra la utilidad de los modelos simplificados como una herramienta valiosa. Pero conviene mencionar que las particularidades de cada sistema en estudio pueden presentar limitaciones en su aplicación; en el caso de Valle de Bravo, la utilización de las cargas equivalentes de  $P$  en relación al  $N$ , puede ser una de ellas; esto se debe a la imposibilidad de utilizar valores menores al nivel de detección de la técnica analítica utilizada. En el balance de nutrientes no se considera la carga de  $P$  y  $N$  contenida en malezas acuáticas como es el lirio acuático. Por lo tanto, el modelo es susceptible de complementarse.

6. Variaciones mensuales de parámetros físicos y químicos del embalse Valle de Bravo, México (1987)



## Conclusiones

- En el sistema Valle de Bravo, la materia orgánica está constituida básicamente por material nitrogenado.
- En términos físico-químicos, todas las descargas y los ríos Amanalco y Carrizal son las principales fuentes de contaminación al embalse.
- El embalse Valle de Bravo se clasifica como un lago cálido monomítico de segundo orden, con la formación de termoclina a 8 m, con estratificación en verano y oxígeno disuelto en el hipolimnio cercano a 2 mg/l.
- La biomasa fitoplanctónica de 29.2 mg/m<sup>3</sup> de clorofila *a*, promedio anual, permite una capa fótica promedio de 5.23 m, siendo la luz un factor limitante.
- En la presa hay acumulación de bacterias debido a las descargas de *P* y principalmente de *N*.
- La biomasa de lirio acuático parece estar limitada a 50 000 ton promedio, por la acción del viento, la cosecha mecánica y la disponibilidad de nutrientes por competencia con el fitoplancton.
- La tasa de crecimiento del lirio en Valle de Bravo es de 0.052 días en otoño y su capacidad de carga (*K*), de 2.29 kg/m<sup>2</sup>.
- Las principales cargas de *P* son aportadas por el río Amanalco (57%) y la descarga El Mercado (34%).
- De acuerdo con el estudio realizado en el vaso, Valle de Bravo se clasifica como eutrófico.
- Al eliminar todas las descargas a Valle de Bravo, el embalse pasaría a ser mesotrófico.
- La eliminación de la descarga El Mercado y el control de la contaminación en el río Amanalco, parecen ser la mejor solución al problema trófico de Valle de Bravo.

## Recomendaciones

- Evitar la entrada al embalse de la descarga de aguas residuales denominada El Mercado.
- Efectuar un programa de control de descargas al río Amanalco, ya que ésta es la principal fuente de contaminación en Valle de Bravo.
- Realizar la destrucción o extracción del lirio acuático presente en la presa.
- Mantener, en la medida de lo posible, cierta biomasa de lirio en la influencia de las descargas y ríos al embalse, debido a sus propiedades de absorción, que funcionan como sistema de tratamiento.

- Realizar un manejo de la cuenca, principalmente en el control de la erosión por reforestación, haciendo énfasis en la subcuenca del río Amanalco, para disminuir la gran cantidad de sólidos que acarrea.

\* Agradezco al personal de los laboratorios de análisis físico-químico y al de microbiología de la Subcoordinación de Calidad del Agua del IMTA su valiosa colaboración en este estudio, así como la cooperación del personal y servicio social del proyecto Control de la eutroficación y malezas acuáticas, a cargo del biólogo Guillermo Díaz Z., así como a la Srta. Teresa Arzate C., por la mecanografía del trabajo.

## Bibliografía

- Anónimo. "El proyecto Cutzamala de México, entra a la segunda fase", *Rev. Agua*, vol. 2 núm. 5, pp. 11-13, 1983.
- APHA, ANWA y WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 15a. ed., Washington, D. C., 1980.
- Arrignon, J. *Ecología y piscicultura de aguas dulces*,undi-Prensa, Madrid, 1979.
- Bueno, S. J. y C. Márquez. "Algunos insectos acuáticos de la presa Valle de Bravo", *Soc. Méx. Hist. Nat.*, vol. 36, núm. 1-4, pp. 351-363, México, 1975.
- Carlson, R. E. "A trophic state index for lakes", *Limnol. Oceanogr.*, vol. 22, núm. 2, pp. 361-369, 1977.
- Castagnino, W. A. *Investigación de modelos simplificados de eutroficación en lagos cálidos tropicales*, OMS/OPS/CEPIS, Lima, Perú, pp. 10-27, 1982.
- Chávez, A. M. M. *Contribución al conocimiento de la estructura y composición de las comunidades planctónicas de Valle de Bravo*, Edo. de México, Tesis, Fac. de Ciencias, UNAM, México, 22 p., 1986.
- Deguchi, J., A. Nakasawa y C. Gutiérrez. "Studies on interspecific relation of fishes in the dam Valle de Bravo, México, on the environment", *Bull. Coll. Agr. y Uct. Med. Univ.*, vol. 37, pp. 154-259, 1980.
- Dillon, P. J. "The application of the phosphorus-loading concept to eutrophication research", *Scientific Series*, núm. 46, Canada Center of Inland Waters, Burlington, Ontario, 1975.
- Elías, G. M. *Contribución al conocimiento de los cladóceros del Edo. de México con algunas notas ecológicas*, Tesis, ENEP Iztacala, UNAM, México, 1983.
- Franco, L. J. *Contribución al conocimiento de la estructura y composición de las comunidades planctónicas de Valle de Bravo*, Edo. de México, Tesis, ENEP Iztacala, UNAM, México, 1981.
- Jackson, M. L. *Análisis químico de suelos*, Omega, España, 1970.
- López, S. A. "El relieve kárstico de Valle de Bravo, Edo. de México", *Bol. Inst. Geog.*, México, vol. 4, pp. 88-93, 1971.