

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN
LAGOS Y EMBALSES”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A

JOSÉ ALFREDO RESENDIZ CRUZ



Director de tesis: M.I. Alba Beatriz Vázquez González

CIUDAD UNIVERSITARIA

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimiento

Agradezco a la DGAPA el financiamiento otorgado al proyecto IN107710 *“Monitoreo de la calidad del agua mediante el uso de percepción remota”*, a través del **PROGRAMA DE APOYO A PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA (PAPIIT)**. El presente trabajo forma parte del citado proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas aquellas personas, que de una u otra manera, han hecho posible la culminación de esta etapa profesional de mi vida.

A mi familia y amigos por brindarme su amor, su apoyo y animarme día a día a seguir adelante, por su constante preocupación y estimulación ante mis estudios y mi trabajo y sin cuyos esfuerzos, dedicación, ayuda y entusiasmo, no me habría sido posible llegar a alcanzar esta importante meta en mi vida.

A mi directora de tesis a la M.I. Alba Beatriz Vázquez González por la comprensión, apoyo incondicional y conocimientos compartidos.

A cada uno de mis Maestros que participaron en mi desarrollo profesional durante mi carrera y que me permitieron llegar a la meta de la conclusión de mis estudios profesionales en la Carrera de Ingeniería Civil en la Facultad de Ingeniería, la Universidad Nacional Autónoma de México.

A todos muchas gracias.

ÍNDICE

Introducción	...	2
1. Lagos y embalses	...	5
1.1 Lagos y embalses en México y en el mundo		
1.2 Importancia de los lagos y embalses		
1.3 Degradación de la calidad del agua en lagos y embalses		
2. Evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses	...	33
2.1 Estado trófico		
2.2 Florecimientos algales		
2.3 Sedimentos		
3. Revisión bibliográfica de estudios de calidad del agua en lagos y embalses	...	50
3.1 Casos nacionales		
3.2 Casos internacionales		
4. Caso estudio: Evaluación de la calidad del agua del vaso de la presa Valle de Bravo	...	61
4.1 Presa Valle de Bravo		
4.2 Sitios de muestreo		
4.3 Trabajos de campo y laboratorio		
4.4 Procesamiento y análisis de la información		
4.5 Discusión de resultados		
5. Conclusiones y recomendaciones	...	100

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso ineludible para toda la vida en la Tierra. No hay duda de que la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de calidad adecuada en las regiones en todo el mundo sigue siendo un reto fundamental para el futuro. A pesar de que en el planeta existe una cantidad considerable de agua estimada en 1 400 millones de km³, sólo el 2.5% es agua dulce y la mayor parte de la misma se encuentra en forma de hielo o en depósitos subterráneos de difícil acceso. De esta manera, el agua disponible en teoría para las actividades humanas sería, en el mejor de los casos, del 0.01%. Además, esta mínima porción de agua frecuentemente se localiza en lugares inaccesibles o está contaminada, lo que dificulta su aprovechamiento (PNUMA, 2002).

Del 2.5% que es agua dulce el 0.007% está concentrada en los ríos, lagos y embalses. De este 0.007%, el 87% se usa para la agricultura, por lo que el agua que queda es poca y las necesidades aumentan conforme crece la población mundial (Investigación y desarrollo, 2000).

A través de la historia de nuestro planeta, el agua ha sido el sustento para el desarrollo de la vida, ha moldeado los paisajes y controlado los climas. A medida que el hombre sale del periodo de recolector empieza a reconocer el agua como un recurso utilizable económicamente, desde entonces se han realizado múltiples esfuerzos por regular este recurso en todo el mundo, siendo la principal obra de regulación para estos fines la construcción de embalses.

La calidad de las aguas está influenciada por las actividades que se desarrollan en el entorno, las cuales pueden generar posibles fuentes de contaminación por vertidos de distintos tipos (materia orgánica, materia inorgánica, nutrientes, metales pesados, plaguicidas, etc.). Gran cantidad de estas sustancias se incorporan al agua por la acción humana, principalmente a través de los vertidos municipales e industriales y de las actividades agrícolas y ganaderas. La presencia en el agua de altas concentraciones de contaminantes, tanto biodegradables como elementos no biodegradables, anula la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua, rompiéndose el equilibrio y dando lugar a

la drástica degradación de la calidad de sus aguas, lo que ocasiona daños y zonas contaminadas que resultará difícil recuperar a no ser que sea de forma lenta y/o artificial, limitando todos los usos posteriores del agua, o causando efectos negativos al ser usada.

Al mirar hacia el futuro, es esencial que se deba aprender y beneficiarse de las experiencias del pasado. La gente entiende que necesitamos proyectos de agua, sin embargo, debe ser realista, fiable, rentable y sostenible.

Además de la reglamentación respectiva, es necesario que se lleven a cabo ciertas acciones que ayudarían de manera sustancial a resolver el problema como la participación entusiasta de las personas.

La ingeniería ambiental moderna tuvo sus comienzos en Londres a mediados del siglo XIX, cuando se estableció que una red de alcantarillado adecuada podría reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua como el cólera. La introducción desde ese entonces de la purificación de agua y del tratamiento de aguas residuales ha transformado a las enfermedades transmitidas por el agua de principales causas de muerte a rarezas en los países industrializados.

De esta forma el cometido principal de la ingeniería ambiental consiste en proteger al medio ambiente de mayor degradación, preservar las partes de éste que se encuentran en buenas condiciones, y mejorarlo y revitalizarlo donde sea necesario.

Los objetivos generales de este trabajo son presentar, analizar y aplicar los principios y métodos utilizados en la evaluación de calidad del agua en lagos y embalses. Parte del presente trabajo consiste en evaluar la calidad del agua del embalse Valle de Bravo, que junto con otras presas, es utilizada para abastecer agua al sistema Cutzamala, el cual suministra agua para uso y consumo humano al Valle de México, dicho estudio realizado por la Facultad de Ingeniería bajo el patrocinio del programa PAPIIT "Monitoreo de la calidad del agua mediante el uso de la percepción remota".

El Capítulo I tiene como finalidad presentar un enfoque global de los principales lagos y embalses a nivel nacional e internacional, así como su importancia y su vulnerabilidad a la contaminación y degradación. La evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses se presenta en el Capítulo II.

En el Capítulo III se presenta una revisión bibliográfica de distintos estudios de calidad del agua en lagos y embalses, la cual incluye una relación de parámetros muestreados, tanto de experiencias nacionales como internacionales.

El Capítulo IV presenta un análisis específico de la presa Valle de Bravo, aplicando los principios y métodos utilizados en la evaluación de la calidad del agua, desarrollando desde la importancia de la presa, trabajos de muestreos, análisis en campo y laboratorio, procesamiento de información y resultados.

Con base a la información procesada se evalúa la calidad del agua con respecto a las actuales Normas Mexicanas y se califica el grado de contaminación en función del uso del agua

En el Capítulo V se señalan las conclusiones generales y se realizan recomendaciones para futuros análisis en la evaluación de la calidad del agua.

1. LAGOS Y EMBALSES

1.1. Lagos y embalses en México y en el mundo

Los lagos son masas de agua formados cuando las depresiones naturales o cuencas de la superficie de la tierra se llenan de agua con el tiempo.

Estas depresiones (cuencas) se produjeron generalmente como resultado de los eventos catastróficos de los glaciares, la actividad volcánica, o los movimientos tectónicos.

El proceso natural de "erosión glacial", es importante para la formación de lagos en las zonas templadas, en la que el lento movimiento de grandes volúmenes de hielo glacial durante y después de la Edad de Hielo produjo depresiones en la superficie de la tierra que, posteriormente se llena con agua.

Otro proceso de formación principal de los lagos era "el movimiento tectónico", en los que los movimientos lentos de la corteza de la Tierra producen depresiones con el tiempo, que posteriormente se llenan de agua.

Desde el punto de vista geológico, la vida de un cuerpo es efímera, unas cuantas decenas de miles de años, con excepción de algunos casos que datan de hace millones de años. Su vida está limitada por los cambios y las alteraciones en las condiciones climáticas y geológicas.

La mayoría de los lagos son de agua dulce, pero también los hay de agua salada, como el mar muerto, el Gran Lago Salado (EE UU), el mar de Aral y el mar Caspio. Su nombre tradicional de mares se debe, precisamente, al carácter salado de sus aguas, aunque no lo sean.

Los lagos tienden a crear un ecosistema propio, con ciertas especies endémicas y otras propias de los lagos. La mayoría de los lagos tienen aguas someras, esto

quiere decir que la luz del sol llega hasta el fondo, por lo que son muy propicios para el desarrollo de la vida, en especial de plancton y bacterias.

Los lagos han servido a las sociedades que se han asentado en torno a ellos. La feracidad de las tierras, la riqueza de su pesca y la facilidad de las comunicaciones por agua hacen de estos paisajes un lugar propicio para el asentamiento humano,

Es pues la naturaleza la que ha creado los grandes embalses del mundo y la que aporta la mayoría de los volúmenes disponibles. Las Tablas 1.1 a 1.3 que a continuación se presentan incluyen las listas de los lagos más grandes del mundo. Están clasificadas por área de superficie, volumen y profundidad.

TABLA 1.1		
Mayores lagos naturales en el mundo (por superficie)		
Lago	Area (km2)	Pais
Mar Caspio	371	Azerbaiyán-Irán-Kazajistán-Rusia-Turkmenistán
Lago Superior	81,1	Canadá-EE UU
Lago Victoria	68,8	Kenia-Tanzania-Uganda
Mar de Aral	66,458	Kazajistán-Uzbekistán
Lago Hurón	59,6	Canadá-EE UU
Lago Michigan	57,8	EE UU
Lago Tanganica	32,9	Burundi-Tanzania-Zaire-Zambia
Lago Baikal	30,5	Rusia
Gran Lago del Oso	31,328	Canadá
Lago Malawi (Lago Nyasa)	30,044	Malawi-Mozambique-Tanzania)
Gran Lago del Esclavo	28,57	Canadá

FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, THE TIMES ATLAS OF THE WORLD, 2009

TABLA 1.2		
Mayores lagos naturales en el mundo (por volumen)		
Lago	Volumen (km3)	Pais
Lago Baikal	23.6	Rusia
Lago Tanganica	18.9	Burundi-Tanzania-Zaire-Zambia
Lago Superior	11.6	Canadá-EE UU
Lago Malawi (Lago Nyasa)	7.725	Malawi-Mozambique-Tanzania)
Lago Michigan	4.9	EE UU
Lago Hurón	3.54	Canadá-EE UU
Lago Victoria	2.7	Kenia-Tanzania-Uganda
Gran Lago del Oso	2.236	Canadá
Lago Issyk-Kul	1.73	Asia
Lago Ontario	1.71	América del Norte

FUENTE: WIKIPEDIA, 2010

TABLA 1.3		
Mayores lagos naturales de agua en el mundo (por profundidad)		
Lago	Profundidad (m)	Pais
Lago Baikal	1 635	Rusia
Lago Tanganica	1 470	Burundi-Tanzania-Zaire-Zambia
Mar Caspio	1 025	Azerbaiyán-Irán-Kazajistán-Rusia-Turkmenistán
Lago O`Higgins (Lago San Martin)	836	América del Sur
Lago Malawi (Lago Nyasa)	706	Malawi-Mozambique-Tanzania)

FUENTE: WIKIPEDIA, 2010

El lago Baikal en la Siberia Rusa, Figura 1.1, es el de mayor volumen del mundo, además del más profundo del mundo, con una profundidad máxima de 1 635 m, y es el de génesis más antiguo. Almacena alrededor de un quinto del volumen de agua dulce en la Tierra y el 90% en Rusia.¹



FIGURA 1.1. Lago Baikal

FUENTE: Forma y función en presas y embalses, Berga Casafont Luis

La República Mexicana cuenta con muy pocas fuentes de aguas interiores y estas se encuentran concentradas en solo una porción del territorio, particularmente el sureste del país, Figura 1.2. La gran mayoría del territorio es árido o semiárido, lo que imposibilita el desarrollo de una fuerte agricultura o ganadería y tampoco favorece el desarrollo industrial.

México posee 320 cuencas hidrográficas en las cuales se destacan 70 lagos, con tamaños de superficies que varían entre las 1000 y más de 10 000 hectáreas y que en conjunto cubren un área de 370 891 hectáreas.

La tabla 1.4 muestra los principales lagos de México.

¹ Lake Baikal, Past, present, future, ATLAS, ATACC, 2004.

TABLA 1.4					
Área y volumen de almacenamiento de los lagos principales de México, según Región Hidrológico-Administrativa y entidad federativa, 2007					
Nº	Lago	Área de la Cuenca propia (km²)	Capacidad de Almacenamiento (mill. m3)	Región Hidrológico-Administrativa	Entidad(es) Federativa(s)
1	Chapala	1 116	8 126	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	Jalisco y Michoacán de Ocampo
2	Cuitzeo	306	920*	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	Michoacán de Ocampo
3	Pátzcuaro	97	550*	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	Michoacán de Ocampo
4	Yuriria	80	188	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	Guanajuato
5	Catemaco	25	454	X Golfo Centro	Veracruz de Ignacio de la Llave
6	Tequesquitengo	8	160*	IV Balsas	Morelos
7	Nabor Carrillo	10	12*	XIII Aguas del Valle de México	México

* El dato se refiere al volumen medio almacenado, todavía no se tienen estudios actualizados de su capacidad de almacenamiento.

FUENTE: CONAGUA, SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA, 2008



FIGURA 1.2 Lagos principales de México

FUENTE:: CONAGUA, ATLAS DEL AGUA EN MÉXICO, 2009

En México el lago de Chapala es el más grande de los lagos interiores. Tiene una extensión de 1 116 km² y cuenta con una profundidad promedio que oscila entre los 4 y 6 m.²

En el tiempo de evolución de los lagos mexicanos, muchos han desaparecido, sobre todo porque están relacionados tanto con los cambios climáticos como los de tipo geológico. Algunos grandes lagos han desaparecido y dejado valles y planicies, algunas veces con la intervención humana, que han acelerado su extensión.

En contraste con los procesos naturales de la formación de lagos, los embalses son cuerpos de agua artificiales construidos por los humanos, por lo general formados por la construcción de una presa en un río que fluye.

Las razones para la construcción de embalses son de origen antiguo e inicialmente se centró en la necesidad de las personas a protegerse a sí mismos durante los períodos de sequía o inundaciones.

Los primeros pequeños embalses fueron construidos hace 4.000 años, algunos en China, Egipto y Mesopotamia, principalmente para el abastecimiento de agua potable y para riego.

En la actualidad hay unas 50 000 grandes presas, según la definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOL); presas de altura igual o superior a 15 m desde el punto de vista más bajo del cimiento, o presas entre 5 metros y 15 metros con un volumen de embalse superior a 3 millones de m³.³

Las presas se construyen con la finalidad de la regulación de los recursos hídricos, para así poder cubrir parte de las demandas de agua. El objetivo de los embalses a nivel mundial es el siguiente:

² Atlas del Agua en México, 2009

³ ICOL, World Register of Dams, 2003

Regadío	38 %
Producción eléctrica	18 %
Abastecimiento de agua	14 %
Control de avenidas	14 %
Actividades recreativas	8 %
Navegación y pesquerías	3 %
Otros	5 %

En la Tabla 1.5 se muestra la capacidad de los 26 mayores embalses con capacidad superior a 35 km³.

TABLA 1.5				
Mayores embalses del mundo, Capacidad superior a 35 km ³				
Nº	Presa	Volumen (103 m3)	Objetivos	País
1	Kariba	180 600 000	H	Zimbawe/Zambia
2	Bratsk	169 000 000	HNS	Rusia
3	Alta de Asuan	162 000 000	IHC	Egipto
4	Akosombo	150 000 000	H	Ghana
5	Daniel Johnson (Manic 5)	141 851 350	H	Canada
6	Guri	135 000 000	H	Venezuela
7	Bennett W.A.K.	74 300 000	H	Canadá
8	Krasnoyarsk	73 300 000	HNS	Rusia
9	Zeya	68 400 000	HNC	Rusia
10	LG Deux Principal CD	61 715 000	H	Canadá
11	LG Trois Nord; Sud Barrage	60 020 000	H	Canada
12	UST-Ilim	59 300 000	HN	Rusia
13	Boguchany	58 200 000	HS	Rusia
14	Kuibyshev	58 000 000	HNIS	Rusia
15	Serra da mesa (San Felix)	54 400 000	H	Brasil
16	Caniapiscau Barrage K A 3	53 790 000	H	Canadá
17	Caohra Bassa	52 000 000	IHC	Mozambique
18	Bukhtarma	49 800 000	HN	Kazajstán
19	Atatürk	48 700 000	IH	Turquía
20	Irkutsk	46 000 000	H	Rusia
21	Tucucui	45 536 000	HN	Brasil
22	Tres Gargantas	39 300 000	CHNI	China
23	Hoover	37 296 795	HI	Estados Unidos
24	Vilyuy	35 900 000	H	Rusia
25	Glen Canyon	35 550 185	HIR	Estados Unidos
26	Sanmexia	35 400 000	HCI	China

NOTAS:

H.-Hidroeléctrica

I.- Regadio

S.-Abastecimiento de agua

N.- Navegación

C.-Control de avenidas

FUENTE: ICOL, World Register of Dams, 2003

A escala mundial, la construcción de embalses alcanzó su punto máximo a finales de 1960 y desde entonces la construcción de nuevos embalses esencialmente ha cesado en América del Norte y Europa.

Más de la mitad de los depósitos en el mundo (incluyendo la mayoría de los más grandes) se encuentran en los Estados Unidos, Canadá, México, Brasil, China y la India. Casi todos los nuevos embalses previstos que entrarán en funcionamiento en el siglo XXI se encuentran en Asia, África y América Latina.

En México existen alrededor de 4 mil presas, de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas⁴, Figura 1.3.

La capacidad de almacenamiento de las presas del país es de 150 mil millones de m³. El volumen almacenado en las 52 presas principales, en el periodo de 1990 a 2007, se muestra en la Tabla 1.6, tanto para el ámbito nacional como regional. Este volumen depende de la precipitación y los escurrimientos en las distintas regiones del país.

Las 52 presas del país con mayor capacidad de almacenamiento representan casi el 70% de la capacidad total de almacenamiento del país.

En México la mayoría de los embalses están influenciados por la marcada estacionalidad climática entre la estación seca y la húmeda, en donde la sobreposición de actividades tiene diferente peso en las condiciones ambientales y los cambios en la columna de agua.

⁴ Atlas del Agua en México, 2009

TABLA 1.6. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO Y USO DE LAS PRESAS

T4.1 Capacidad de almacenamiento y uso de las principales presas de México, 2007

No	Nombre oficial	Nombre común	Capacidad total* (mill. de m ³)	Altura de la cortina (m)	Año de terminación	Región Hidrológico-Administrativa	Entidad federativa	Usos	Capacidad efectiva (MW)
1	Belisario Domínguez	La Angostura	10 727	143	1974	Frontera Sur	Chiapas	G	900
2	Netzahualcóyotl	Malpaso	9 605	138	1964	Frontera Sur	Chiapas	G	1 080
3	Infiernillo	Infiernillo	9 340	149	1963	Balsas	Guerrero -Michoacán	G, C	1 000
4	Presidente Miguel Alemán	Temascal	8 119	76	1955	Golfo Centro	Oaxaca	G, C	354
5	Solidaridad	Aguamilpa	5 540	186	1993	Lerma-Santiago-Pacífico	Nayarit	G, I	960
6	General Vicente Guerrero	Las Adjuntas	3 900	60	1971	Golfo Norte	Tamaulipas	I, A	
7	Internacional La Amistad	La Amistad	3 887	77	1969	Río Bravo	Coahuila - Texas	G, I, A, C	66
8	Internacional Falcón	Falcón	3 273	50	1953	Río Bravo	Tamaulipas - Texas	A, C, G	32
9	Adolfo López Mateos	El Humaya	3 087	106	1964	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	90
10	Álvaro Obregón	El Oviachic	2 989	90	1952	Noroeste	Sonora	G, I	19
11	Plutarco Elías Calles	El Novillo	2 925	139	1964	Noroeste	Sonora	G, I	135
12	Miguel Hidalgo y Costilla	El Mahone	2 921	81	1956	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	60
13	Luis Donaldo Colosio	Huites	2 908	165	1995	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	422
14	La Boquilla	Lago Toronto	2 903	80	1916	Río Bravo	Chihuahua	G, I	25
15	Lázaro Cárdenas	El Palmito	2 873	105	1946	Cuencas	Durango	I, C	
16	Leonardo Rodríguez Alcaide	El Cajón	2 282	186	2006	Lerma-Santiago-Pacífico	Nayarit	G	750
17	José López Portillo	El Comedero	2 250	134	1983	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	100
18	Gustavo Díaz Ordaz	Bacurato	1 860	116	1981	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	92
19	Carlos Ramírez Ulloa	El Caracol	1 414	126	1986	Balsas	Guerrero	G	600
20	Manuel Moreno Torres	Chicoasén	1 376	261	1980	Frontera Sur	Chiapas	G	2 400
21	Ing. Fernando Hiriart	Zimapán	1 360	297	1996	Golfo Norte	Hidalgo-	G	292
22	Venustiano Carranza	Don Martín	1 313	35	1930	Río Bravo	Coahuila de Zaragoza	I, A, C	
23	Miguel de la Madrid	Cerro de Oro	1 250	70	1988	Golfo Centro	Oaxaca	G, I	360
24	Cuchillo-Solidaridad	El Cuchillo	1 123	44	1994	Río Bravo	Nuevo León	A, I	
25	Ángel Albino Corzo	Peñitas	1 091	58	1986	Frontera Sur	Chiapas	G	420
26	Adolfo Ruiz Cortines	Mocúzari	950	62	1955	Noroeste	Sonora	G, I	10
27	Benito Juárez	El Marqués	947	86	1961	Pacífico Sur	Oaxaca	I	
28	Marte R. Gómez	El Azúcar	824	49	1946	Río Bravo	Tamaulipas	I	

FUENTE:: CONAGUA, ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MÉXICO, 2010

TABLA 1.6. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO Y USO DE LAS PRESAS

T4.1 Capacidad de almacenamiento y uso de las principales presas de México, 2007 (continuación)									
No	Nombre oficial	Nombre común	Capacidad total ^a (mill. de m ³)	Altura de la cortina (m)	Año de terminación	Región Hidrológico-Administrativa	Entidad federativa	Usos	Capacidad efectiva (MW)
29	Solís	Solís	728	52	1980	Lerma-Santiago-Pacífico	Guanajuato	I	
30	Lázaro Cárdenas	La Angostura	703	73	1942	Noroeste	Durango	I, C	
31	Sanalona	Sanalona	673	81	1948	Pacífico Norte	Sinaloa	G, I	14
32	Constitución de Apatzingán	Chilatán	601	105	1989	Balsas	Jalisco	I	
33	Estudiante Ramiro Caballero	Las Ánimas	571	31	1976	Golfo Norte	Tamaulipas	I	
34	José María Morelos	La Villita	541	73	1968	Balsas	Michoacán – G, I Guerrero	G, I	280
35	Josefa Ortiz de Domínguez	El Sabino	514	44	1967	Pacífico Norte	Sinaloa	I	
36	Cajón de Peña	Tomatlán	467	68	1976	Lerma-Santiago-Pacífico	Jalisco	I	
37	Chicayán	Paso de Piedras	457	30	1976	Golfo Norte	Veracruz de Ignacio de la Llave	I	
38	El Gallo	El Gallo	441	30	1991	Balsas	Guerrero	G	60
39	Tepuxtepec	Tepuxtepec	425	43	1972	Lerma-Santiago-Pacífico	Michoacán	G, I	79.5
40	Valle de Bravo	Valle de Bravo	418	56	1944	Balsas ^b	México	A	
41	Aurelio Benassini Viscaino	El Salto	415	73	1986	Pacífico Norte	Sinaloa	I	
42	Manuel M. Dieguéz	Santa Rosa	403	114	1964	Lerma-Santiago-Pacífico	Jalisco	G	61
43	Francisco Zarco	Las Tórtolas	365	40	1968	Cuencas Centrales	Durango	C, I	
44	Luis L. León	El Granero	356	62	1968	Río Bravo	Chihuahua	I, C	
45	Plutarco Elías Calles	Calles	350	67	1931	Lerma-Santiago-Pacífico	Aguascalientes	I	
46	Francisco I. Madero	Las Vírgenes	348	57	1949	Río Bravo	Chihuahua	I	
47	Manuel Ávila Camacho	Valsequillo	304	85	1946	Balsas	Puebla	I	
48	Guillermo Blake Aguilar	El Sabinal	300	81	1985	Pacífico Norte	Sinaloa	C, I	
49	José López Portillo	Cerro Prieto	300	50	1984	Río Bravo	Nuevo León	A, I	
50	Vicente Guerrero	Palos Altos	250	67	1968	Balsas	Guerrero	I	
51	General Ramón Corona Madrigal	Trigomil	250	107	1993	Lerma-Santiago-Pacífico	Jalisco	I	
52	Federalismo Mexicano	San Gabriel	247	44	1981	Río Bravo	Durango	I, A	
	TOTAL		103 466						10 661.5

NOTAS: ^a La capacidad total es al Nivel de Aguas Máximas Ordinarias o de Operación (NAMO).
G: Generación de energía eléctrica
I: Irrigación
A: Uso público
C: Control de avenidas
^b : Esta presa forma parte del Sistema Cutzamala que es operado por el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.
FUENTE: CONAGUA, Subdirección General Técnica.

FUENTE:: CONAGUA, ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MÉXICO, 2010

1.2. Importancia de los lagos y embalses

Con más de 90% de agua dulce líquida en la superficie del mundo, los lagos naturales y artificiales (embalses) ofrecen muchos usos sustentables para la vida de humanos y el desarrollo económico.

Los lagos proporcionan beneficios directos e indirectos a muchos segmentos de la sociedad. Los lagos son importantes características ecológicas que ofrecen un hábitat para los peces y los mariscos, las zonas marginales de vivero para muchas especies acuáticas y anfibios, lugares de descanso y alimentación de numerosas aves migratorias, agua potable para innumerables especies de mamíferos.

Como una fuente de recreación, paseos en bote, pesca y natación. Desde un punto de vista comercial, los lagos tienen un valor considerable en el suministro de alimentos, apoyan el turismo y proporcionan un medio de transporte. Los lagos pueden utilizarse como caracteres de control de inundaciones. Ellos son componentes importantes de generación de energía hidroeléctrica y una fuente de potable, industrial y agua de riego. Además de estos tipos de beneficios estrictamente económicos, las personas que viven alrededor de los lagos demuestran una afinidad hacia ellos. Estos beneficios son difíciles de cuantificar desde el punto de vista económico

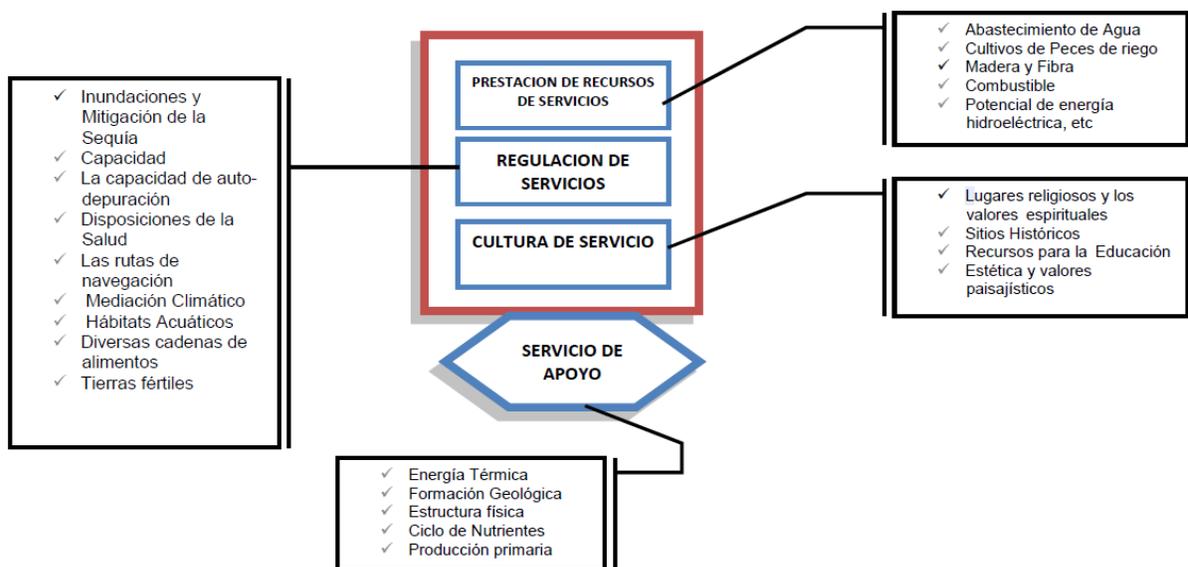
Hoy en día, los usos más importantes del lago son una fuente de agua, como una herramienta en las inundaciones de control y por tanto las actividades recreativas y religiosas. Con demasiada frecuencia la sobreexplotación de los una cuenca lacustre de carga puede aumentar la contaminación de un lago, lo que puede provocar estos cambios en los usos y el valor del lago.

Una de las maneras más eficientes para administrar los recursos hídricos para las necesidades humanas es la construcción de presas que crean reservorios para el almacenamiento y su futura distribución.

La principal importancia de las presas y embalses en el mundo es el suministro de agua. Otros propósitos claves y beneficios Figura 1.4 incluyen:

- Riego para la agricultura (suministro de alimentos)
- Control de inundaciones
- Hidroeléctrica
- Navegación fluvial
- Recreación

FIGURA 1.4 BENEFICIOS Y PROPOSITOS CLAVES EN LAGOS Y EMBALSES



FUENTE: HOW CAN WE STOP DEGRADATION OF THE WORLD'S LAKE ENVIROMENTS?, INTEGRATED LAKE BASIN MANAGEMENT.2007

La mayoría de estas presas en el registro de la Comisión Internacional de Grandes Presas, ICOLD, (71,7%) son presas de una sola función, pero hay un número cada vez mayor (28,3%) de las represas de usos múltiples. Hoy en día, el riego es el propósito más común de las presas en el registro de ICOLD

- **Abastecimiento de agua para uso doméstico e industrial**

Uno de los requisitos fundamentales para el desarrollo socio-económico en el mundo es la disponibilidad de cantidades adecuadas de agua con la calidad adecuada. En el pasado, las principales fuentes de agua para uso doméstico e industrial han sido los acuíferos. Hoy en día, muchos de los cuales son usados en exceso y su tasa de recarga es mucho menor que lo que se extrae. Su alimentación debe ser aumentada con más agua de los embalses.

Las grandes zonas urbanas dependen en gran medida de agua almacenada en los embalses durante las altas avenidas y se utiliza durante períodos de escasas precipitaciones. Esto es especialmente crítico en las regiones áridas del mundo.

El agua almacenada en los embalses también se utiliza para necesidades industriales. Esto va desde la utilización directa en los procesos químicos y refinación, de enfriamiento, para la producción de energía convencional y nuclear.

- **Satisfacer la demanda agrícola para el suministro de alimentos**

Uno de los principales usos del agua a escala mundial es la agricultura de regadío. Desde principios de 1990, menos de un quinto de las tierras son aptas para la agricultura en el mundo. Se estima que el 80% de la producción de alimentos adicionales para el año 2025 tendrá que venir de las tierras de regadío. Esto pondrá una demanda adicional en nuestro suministro de agua dulce. La mayoría de las áreas que necesitan de riego en zonas áridas, representan una porción importante de los países en desarrollo. Incluso con la extensión de medidas para conservar el agua por las mejoras en la tecnología de riego, la construcción de más embalses será necesario.

- **Control de inundaciones**

Las presas y embalses pueden ser efectivamente utilizados para regular los niveles de los ríos y las inundaciones aguas abajo de la presa, temporalmente almacenando el volumen de la inundación y liberándola más tarde. El método más eficaz de control de inundaciones se realiza mediante un número de presas multiusos estratégicamente situado en la cuenca hidrográfica. Las presas son operadas por un plan de control de agua específica para el encaminamiento de las inundaciones a través de la cuenca, sin daños. Esto no sólo elimina las inundaciones, sino que proporciona otros beneficios tales como el suministro de agua, riego, energía hidroeléctrica. El número de presas y su control de gestión del agua son establecidos por la planificación integral para el desarrollo económico y con la participación del público. El control de inundaciones es un objetivo importante para muchas de las presas existentes y continúa como un objetivo principal para algunos de las principales presas del mundo, actualmente en construcción.

- **Energía hidroeléctrica**

La disponibilidad de energía es esencial para el desarrollo socio-económico de una nación. Una ventaja importante de la energía hidroeléctrica, en comparación con otras fuentes de electricidad (por ejemplo, la quema de carbón, petróleo o gas), es que la fuente es renovable. También se trata de una fuente de energía limpia, ya que no involucra la quema de combustible que puede contaminar el medio ambiente.

Algunos de los primeros países en desarrollar la energía hidroeléctrica a gran escala son: Noruega, Suecia y Suiza en Europa, Canadá, EE.UU., Australia y Nueva Zelanda. En menor escala, los proyectos fueron construidos hace muchos años en algunos de los países asiáticos con las condiciones adecuadas.

Casi 200 países del mundo tienen algún tipo de capacidad para desarrollar energía hidroeléctrica, ya sea en una escala grande o pequeña. Las mejores condiciones naturales se encuentran en países que están en áreas montañosas o de colinas, con un buen número de lagos o ríos, o con grandes sistemas fluviales.

- **La navegación interior**

Las condiciones naturales del río, tales como cambios en el caudal y nivel del río, crean grandes problemas y obstáculos para la navegación interior. Las ventajas de la navegación interior, en comparación con la carretera y el ferrocarril son la gran capacidad de carga de cada barco, la capacidad de manejar la carga de grandes dimensiones y ahorro de combustible. La navegación interior es el resultado de la planificación de la cuenca y el desarrollo integral utilizando diques, esclusas y represas que se regulan para generar un papel vital en la obtención de beneficios económicos regionales y nacionales.

- **Recreación**

El atractivo de los embalses para la recreación es a menudo un beneficio significativo, además de los otros fines de una presa. Esto es muy importante en las zonas donde el agua superficial natural es escasa o inexistente, beneficios recreacionales asociados con lagos, tales como canotaje, natación, pesca, observación de aves y paseos por la naturaleza, se tienen en cuenta temprano en la etapa de planificación y junto con otros objetivos de lograr un proyecto equilibrado. La operación de la presa y embalse puede mejorar las oportunidades recreativas.

1.3. Degradación de la calidad del agua en lagos y embalses

Los lagos y embalses, son la fuente más valiosa de agua potable para la población de la tierra. Las vidas de muchas personas dependen de los lagos naturales y embalses artificiales, que proporcionan el agua potable y agua para el desarrollo agrícola e industrial. Además, los lagos y los embalses proporcionan oportunidades únicas de recreación.

Todos los lagos, naturales o artificiales, se someten a diversas transformaciones a través del tiempo debido a los procesos naturales del envejecimiento causado por cambios hidrológicos y climáticos en los ecosistemas. Sin embargo, los lagos y embalses tienen características especiales que los hacen vulnerables a la contaminación y la degradación.

Los tipos de contaminación de agua de embalses no son diferentes de las que se encuentran en otras aguas, sin embargo, las consecuencias de la contaminación pueden diferir entre los embalses, ríos y lagos.

La progresión de la degradación dentro de un lago a menudo tiene lugar en una escala más amplia y más profunda de lo que aparenta. A menudo, los síntomas de la degradación pasan inadvertidos durante un largo período de tiempo debido a su carácter progresivo, y la conservación introducida y las medidas correctivas pueden hacer demasiado poco y demasiado tarde.

El mayor desafío que enfrenta la solución a la contaminación del agua no es solo el aumento constante, sino también la diversidad cada vez mayor de problemas de calidad del agua.

Los problemas de calidad del agua se pueden clasificar de acuerdo a las fuentes y las causas de contaminación establecidos en la Tabla 1.7.

TABLA 1.7 PROBLEMAS COMUNES EN LA CALIDAD DEL AGUA EN EMBALSES

♣	Contaminación orgánica clásica
♣	Eutroficación : Producción de materia orgánica excesiva en un depósito debido a la entrada alta de nutrientes
♣	Alta contaminación por nitratos y problemas de higiene asociados
♣	Acidificación: disminución del pH y lixiviación de metales asociados; causados por la lluvia ácida
♣	Anoxia hipolimnion
♣	Problemas de turbiedad como resultado de la sedimentación
♣	Salinización debido a la aplicación excesiva de fertilizantes en la tierra o debido a la irrigación en regiones áridas y semiáridas
♣	Contaminación bacteriana y viral
♣	Enfermedades transmitidas por el agua
♣	Contaminación por metales pesados
♣	Agro - químicos y otras sustancias químicas tóxicas
♣	Disminución en el volumen y niveles de agua

FUENTE: M. Straskraba & J. G. Tundisi, Reservoir Water Quality Management, Vol.9, 1999

Los problemas mostrados en la Tabla 1.7 no están en orden de importancia

Un estudio de la International Lake Environment Committee (ILEC) Kira, 1993; señala los siguientes cinco problemas mundiales principales, posteriormente mostrados en la Figura 1.5.

- Sedimentación acelerada
- Contaminación por productos químicos tóxicos
- Eutroficación
- Disminución de los niveles de agua y disminución del volumen de agua
- Acidificación

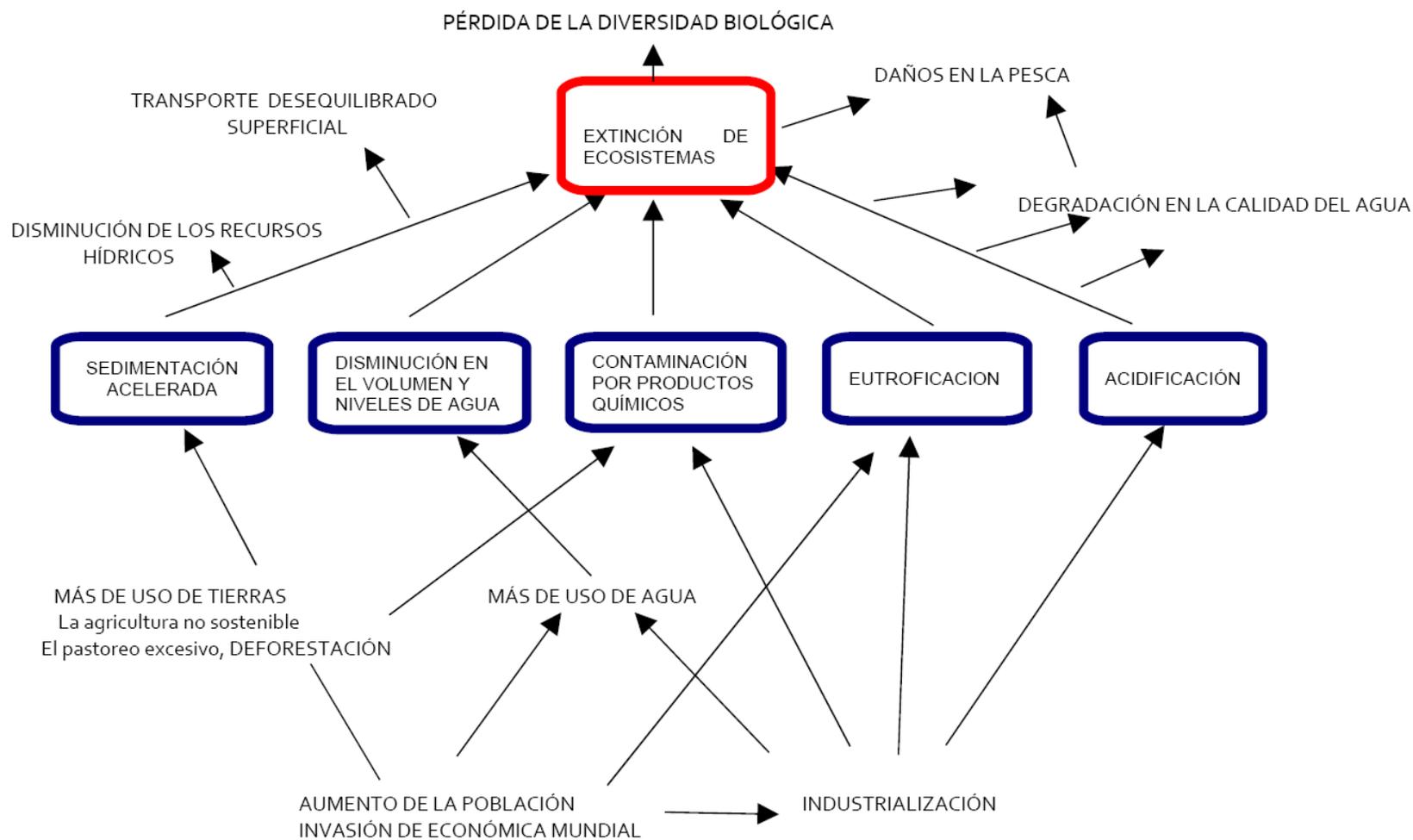


Fig. 1.5. LOS CINCO PROBLEMAS MÁS IMPORTANTES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES COMO SE RECONOCE EN EL ESTUDIO ILEC, SUS CAUSAS Y CONSECUENCIAS, READRAWN DE KIRA (1993).

FUENTE: STRASKRABA & J. G. TUNDISI, RESERVOIR WATER QUALITY MANAGEMENT, VOL.9, 1999

La salud ambiental de los embalses se ve afectada por las actividades de los seres humanos en las cuencas hidrográficas, estas incluyen:

- 1.- Eliminación de aguas residuales domésticas
- 2.- Esguerrimiento de aguas de origen agrícola, además de las generadas por la cría de animales,
- 3.- Arrastre de suelo en áreas sujetas a la erosión,
- 4.- Aporte de contaminantes provenientes de la atmósfera como la lluvia ácida,
- 5.- Filtración concentrada de los depósitos de minerales,
- 6.- Compuestos orgánicos tóxicos de plaguicidas que se utilizan en la agricultura y la silvicultura, y
- 7.- Esguerrimientos contaminados por xenobióticos, compuestos orgánicos persistentes utilizados como catalizadores industriales, y trazas de compuestos farmacéuticos como resultado de una actividad desconocida y desechos hospitalarios (Bernal 1990).

Estos factores dan como resultado la degradación de la calidad del agua, pérdida de la diversidad biológica y la pérdida de los recursos hídricos, se sabe que existe una fuerte relación entre el grado de contaminación y la densidad de población, tanto en los países ricos como en los pobres.

Las principales actividades que aportan contaminantes a las cuencas hidrográficas son:

1. – urbanización
2. - industrialización
3. - gran escala de desarrollo agrícola

- **CONTAMINACIÓN ORGÁNICA**

La principal consecuencia del crecimiento de la población y la urbanización es el elevado aporte de aguas residuales sin tratar en los embalses. Al descargarse agua residual se incrementa la concentración de materia orgánica degradable y la eutroficación. La intensidad de la acuicultura dentro de un depósito o de sus entradas también puede ser una fuente importante de contaminación

En las regiones menos desarrolladas, la entrada de contaminación orgánica puede ser muy alta, y la solución de gestión viable es la reducción, tanto por medios convencionales y eco tecnología, como la mejora y la creación de los humedales.

La Figura 1.6 es una visión general de los efectos de la contaminación orgánica en los embalses. Como las aguas residuales entran en el depósito, una serie de problemas relacionados con la química y la biología de los embalses comienza. La masa de agua profunda de un lago (agua hipolimnion) sufre cambios intensos y una disminución de la calidad, las pérdidas económicas asociadas a condiciones de anoxia en el depósito son muy altos, ya que puede no ser viable para su uso como agua potable, como resultado de la alta contaminación por componente liberado de los sedimentos (CO_2 , H_2S , hierro, manganeso y fósforo) y de gran aumento de los costos del tratamiento.

La corrosión de las estructuras se pueden observar debido a las altas concentraciones de CO_2 y de H_2S . Esto puede incluir las turbinas en las centrales hidroeléctricas, e incluso la pared del embalse.

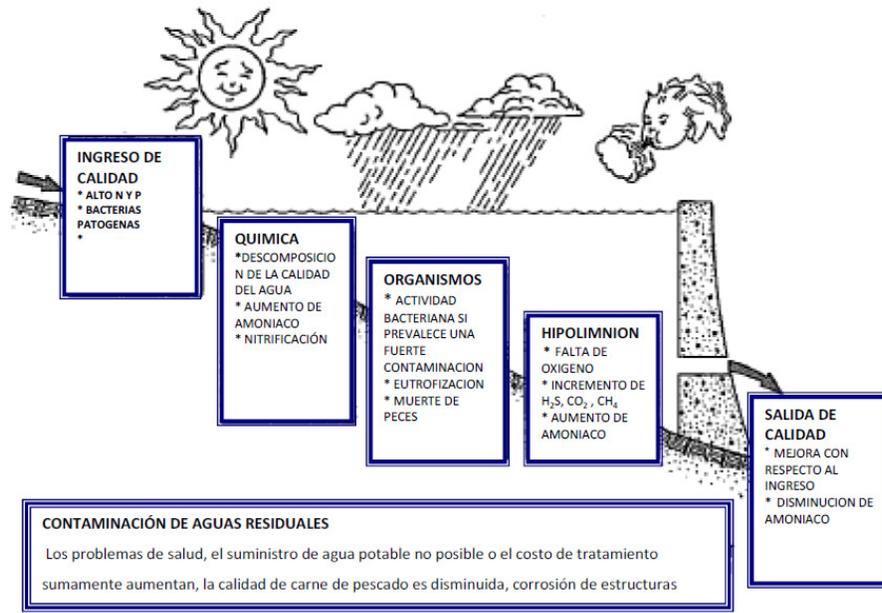


FIGURA 1.6 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS PRINCIPALES CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN EN UN EMBALSE

FUENTE: STRASKRABA & J. G. TUNDISI, RESERVOIR WATER QUALITY MANAGEMENT, VOL.9, 1999

• EUTROFICACIÓN

La eutroficación (Figura 1.7) se puede definir como una excesiva producción orgánica dentro de un depósito debido a la ingesta alta de nutrientes. Las fuentes dominantes de estos aportes de nutrientes son los mismos que los de materia orgánica de aguas residuales y la agricultura.

Masas de algas, incluyendo las cianobacterias que pueden llegar a ser tóxicas para los organismos y los seres humanos se producen en los cuerpos de agua eutróficos.

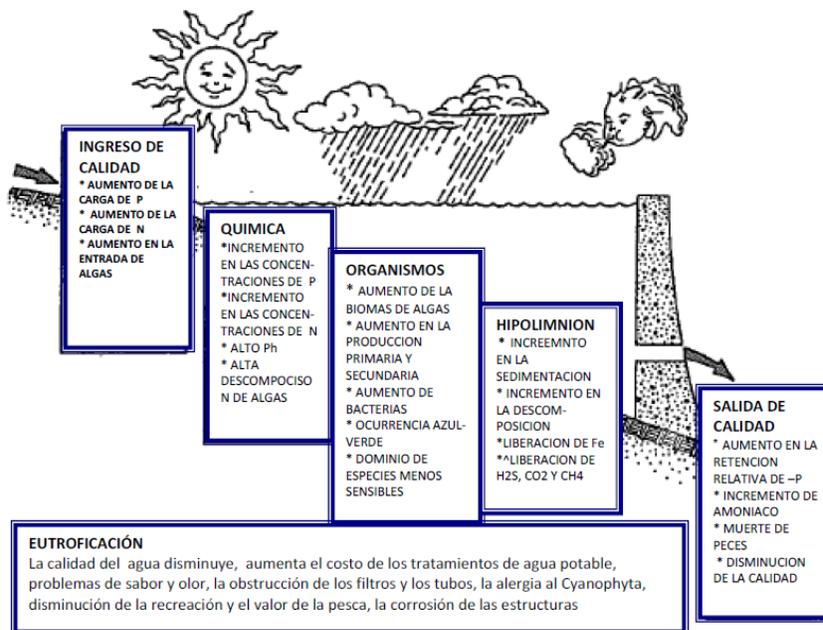


FIGURA 1.7 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS PRINCIPALES CONSECUENCIAS DE LA EUTROFICACIÓN EN UN EMBALSE

FUENTE: STRASKRABA & J. G. TUNDISI, RESERVOIR WATER QUALITY MANAGEMENT, VOL.9, 1999

La recuperación de la eutrofización en lagos y embalses es muy lenta, la longitud de tiempo que se requiere para la recuperación depende del grado de la acumulación de fósforo en los sedimentos; en algunos lagos y embalses se puede tomar hasta 10 años.

- **CONTAMINACIÓN POR NITRATOS**

Los compuestos de nitrógeno actúan de dos maneras muy diferentes en el agua:

1.- Como nutriente, que pueden llegar a ser fundamental para el desarrollo del fitoplancton.

2.- Por otro lado, los nitratos excedentes tienen muy serias repercusiones en el medio ambiente, pero también para nuestra salud ya que a través del agua consumida y de las verduras, estas sustancias pueden llegar al consumidor.

Un exceso de nitrógeno, tiene innegables repercusiones en el medio ambiente, amenazando el equilibrio, en tierra, mar y aire. De entrada, altera el equilibrio de las especies vegetales terrestres: las que asimilan mejor el nitrógeno crecen más rápidamente y predominan, mientras que otras desaparecen.

El riesgo que suponen los nitratos para el organismo humano, no tan inmediato como el del medio ambiente, pero igual de importante, está determinado por su conversión a nitritos (una transformación que se suele producir por efecto de bacterias que hay en la boca). Los nitritos son unos compuestos que tienen un doble peligro. Por un lado, pueden reaccionar con aminos para formar otros compuestos, las nitrosaminas, nocivos para la salud y potencialmente cancerígenos. Por el otro, por las condiciones fisiológicas del organismo de los niños pequeños (que aún no está maduro), resultan muy peligrosos para ellos, ya que impiden la transferencia de oxígeno en la sangre: el nitrito oxida la hemoglobina y esta hemoglobina oxidada no es capaz de hacer que el oxígeno llegue a los tejidos, pudiendo causar graves efectos, en casos extremos, incluso la muerte, especialmente a lactantes.

- **SEDIMENTACIÓN**

La turbiedad de embalses es una consecuencia natural de erosión, los niveles han aumentado considerablemente en los últimos años debido a las actividades humanas. La erosión es generalmente más alta en los países semiáridos y áridos que en las regiones caracterizadas por la vegetación bien desarrollada. En regiones semiáridas / áridas, el limo muy fino prevalece, mientras que la composición de los sedimentos en la región templada es mucho más grueso. Las aguas en las zonas de sedimentos finos tienden a tener turbiedad persistente o turbiedad que dura mucho tiempo. Las tasas de sedimentación de este tipo de turbiedad son muy bajas, y la turbulencia en el agua corriente es suficiente para mantener estas partículas en suspensión para un periodo hasta varios meses. La erosión es determinada por la cantidad media de lluvia, también por la frecuencia, intensidad y duración.

La consecuencia más directa de la sedimentación de los embalses es la disminución de la capacidad del depósito, que esas pérdidas pueden ser extremas, y puede disminuir la vida útil de los embalses a sólo unas pocas décadas. El tratamiento de las aguas turbias para su uso como agua potable es costoso. Otras consecuencias de la turbiedad incluyen la disminución de la planta y la productividad del fitoplancton (que podría ser deseable en los cuerpos de agua eutróficos) y la biodiversidad disminuye. Un ejemplo positivo del efecto de la sedimentación natural ocurrió a lo largo de la parte inferior del río Nilo, donde la carga anual de sedimentos enriqueció la fertilidad del suelo, sin embargo, después de la construcción de la presa de Aswan, la fertilidad del suelo disminuyó rápidamente.

- **ACIDIFICACIÓN**

La acidificación se define como una disminución en el pH. Esto es a menudo debido a una transferencia de masa de los gases atmosféricos que generan lluvia ácida. La fuente principal de estos gases en la atmósfera es la industria, pero otras fuentes, tales como escape de los automóviles contribuyen de manera significativa a esta acumulación. Las consecuencias de la acidificación de los embalses pueden llevar a poner en peligro los suministros de agua. Especies sensibles de peces son erradicados, hasta que sólo quedan los más fuertes.

Entre los efectos sobre la salud humana vamos a destacar que el agua con metales pesados puede producir:

- Cadmio: se acumula en la corteza renal causando graves lesiones
- Cobre: diarrea infantil
- Aluminio: penetra en la corriente sanguínea y provoca graves daños en cerebro y sistema óseo. A muy elevadas concentraciones provoca envejecimiento prematuro y muerte.
- Plomo: daño cerebral, sobre todo en niños.

- **SALINIZACIÓN**

Pueden distinguirse dos fuentes principales de las crecientes concentraciones de sal:

1. - Aplicación excesiva de fertilizantes en las tierras y salazón de carreteras y
2. - Riego en suelo en regiones áridas y semiáridas

Los fertilizantes contienen muchos ingredientes además de fósforo y compuestos de nitrógeno. Por lo tanto, se observa un constante aumento de la salinidad junto con el aumento de nitrógeno de las aguas.

La capacidad de suministro de agua se pierde y se producen cambios en la composición de la biota de embalse.

Una consecuencia de la salinización del agua a de gran escala es el aumento en las tasas de la presión arterial y enfermedad renal consecuyente.

- **CONTAMINACIÓN BACTERIAL Y VIRAL**

Estos son en gran medida debida a los aportes de las aguas residuales, la aplicación de estiércol a los campos y, en algunos casos, la contaminación de los animales. La fuente más peligrosa de este tipo de contaminación es la de los efluentes de los hospitales.

- **EFFECTOS SOBRE LA SALUD Y ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA**

Con la creación de grandes embalses en África y otros países tropicales, el aumento enorme en la propagación de enfermedades transmitidas por el agua que infectan a humanos y animales domésticos ha ocurrido. Los agentes de transmisión de enfermedades transmitidas por el agua incluyen varios tipos de gusanos acuáticos, moluscos y crustáceos. Las enfermedades transmitidas por el agua más peligrosas son las siguientes: protozoos parásitos - plasmodios, Giardia, Entamoeba, Cryptosporium, Naegleria y gusanos parasitarias - Schistosoma (trematodos sanguíneos), Taenia saginata (tenia de carne de vacuno), Ascaris lumbricoides (lombriz intestinal grande).

Estos patógenos son llevados por la vida silvestre y el ganado (castores, coyotes, ratas almizcleras, ratones de campo).

2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES

2.1. Estado Trófico

El término Eutrofia se originó a partir del adjetivo alemán eutrophe, el cual se refería a la riqueza de nutrientes en una cierta región; Einar Naumann, (limnólogo sueco -1919), fue quien introdujo el concepto general de Oligotrofia y Eutrofia, tomando como referencia la poca o gran existencia de algas planctónicas en el lugar de estudio.

Actualmente, se define oligotrofia como un estado que se caracteriza por su baja biomasa fitoplanctónica, una alta transparencia del agua y una limitada concentración de nutrientes y sustancias húmicas. Por el contrario, eutrofia implica una elevada biomasa algal, reducida transparencia del agua, alta carga de nutrientes y baja concentración de sustancias húmicas.

La categoría mesotrófico se añadió para describir situaciones intermedias entre oligotrofia y eutrofia. El término "hypereutrofia", o hipertrófica, fue agregado por Wetzel (1966) para describir situaciones de extrema eutrofia donde la luz, no nutrientes, es el factor medioambiental dominante de control de crecimiento. Esta continuidad de estados tróficos se ilustra en la Figura 2.1.



FIGURA 2.1 CONTINUIDAD TRÓFICA

Cada uno de los estados definidos presenta mecanismos de retroalimentación que mantienen sus principales características. De acuerdo a ello, los estados tróficos pueden ser considerados como estados de equilibrio.

La clasificación de estado trófico puede haber comenzado como un concepto de continuidad, pero rápidamente se convirtió en una clasificación de "tipos". La representación de este tipo de esquema de clasificación no es más que la lista de las características de un tipo específico trófico (Tabla 2.1).

TABLA 2.1 Características generales de los lagos eutróficos y oligotróficos

<i>Carácter</i>	<i>Eutróficos</i>	<i>Oligotróficos</i>
Forma del lago	Extenso y poco profundo	Estrecho y profundo
Sustrato del lago	Sal fina orgánica	Piedras y sales inorgánicas
Orilla del lago	Herbácea	Pedregosa
Penetración de la luz hasta Valor 1% de la superficie (m)	-20	20 – 120
Color del agua	Amarillo y verde	Verde o Azul
Producción primaria neta (g/m ² /año)	150 - 500	15-50
Concentración de clorofila (g/l)	-15+	0,3 – 2,5
Rango de alcalinidad (anual) (meq/l)	1+	Hasta 0,59
P total (ppb)	10 - 30	< 1 – 5
Ntotal (ppb)	300 - 650	<1- 200
Oxígeno	Alto en la superficie, escaso debajo del hielo o termoclina	Elevado
Macrófitas	Muchas especies abundan en las zonas poco profundas	Pocas especies, algunas en las aguas profundas.
Fitoplancton	Pocas especies, número elevado	Muchas especies, número bajo
Zooplancton	Pocas especies, número elevado	Muchas especies, número bajo
Macroinvertebrados	Muchas especies, número elevado	Número de especies moderado, número bajo.
Peces	Muchas especies	Pocas especies

FUENTE: GERARD KIELY, INGENIERÍA AMBIENTAL, 1999

Naumann (1929) fue muy perspicaz al reconocer que los componentes del lago son un sistema interconectado; como uno de los componentes -las plantas- responden a los aportes de nutrientes, otros agentes biológicos, químicos o incluso físicos se verían afectados también. El aumento de la carga de nutrientes, afecta también a otros componentes del ecosistema del lago, como zooplancton, peces, y la concentración de oxígeno en el hipolimnion. Esta cascada de estado trófico se representa en la Figura 2.2

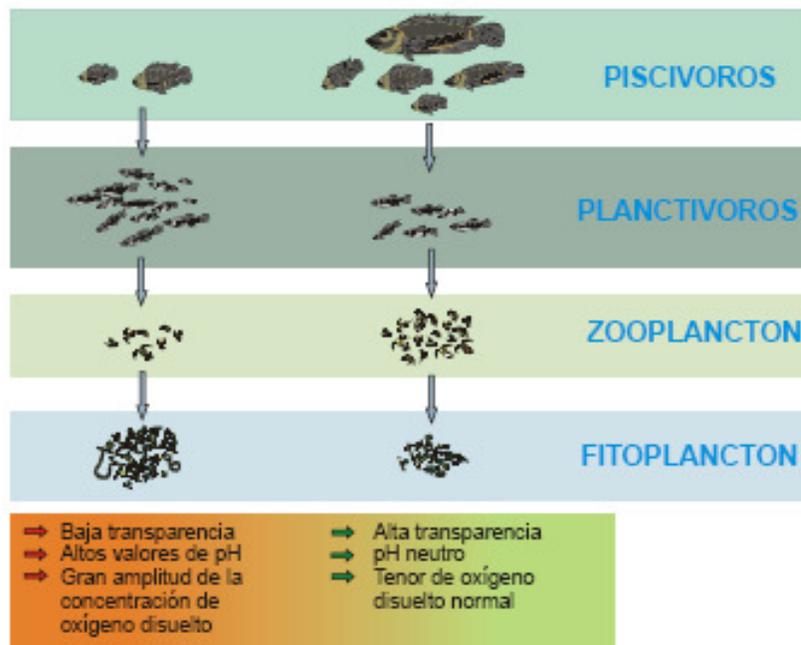


FIGURA 2.2 CADENA TROFICA

FUENTE: FACULTAD DE CIENCIAS-UNIVERSIDAD DE URUGUAY-ESTADO TROFICO Y ESTADOS ALTERNATIVOS. 2010

Un aumento de la biomasa de piscívoros provoca la disminución de los peces planctívoros que indirectamente condiciona una mayor abundancia de zooplancton y menor biomasa del fitoplancton. Una situación inversa ocurre cuando tiene lugar una disminución de la abundancia de los peces piscívoros o un aumento de los planctívoros. Estas interacciones tróficas indirectas se denominan **en cascada** y el conjunto de factores que determinan la presión de consumo sobre el fitoplancton (herbivoría) recibe el nombre de control descendentes (**top-down**).

Durante los últimos veinte años, la palabra eutroficación, ha sido utilizada, cada vez más para designar el aporte artificial e indeseable de nutrientes tales como el fósforo, el nitrógeno y el carbono. Sin embargo este concepto puede llevar a cierta confusión, ya que en algunos casos, el ingreso de nutrientes a un lago o embalse puede resultar muy favorable, dependiendo el fin y el uso de las aguas del sistema en cuestión.

Según la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE, 1982), define a la eutroficación como “el enriquecimiento de nutrientes de las aguas, que provoca la estimulación de una serie de cambios sintomáticos, entre los que el incremento en la producción de algas y macrófitas, el deterioro de la calidad de agua y otros cambios resultan indeseables e interfieren con la utilización del agua “.

Si el estado trófico es una descripción de la condición biológica del lago, eutroficación describe un lago que se está convirtiendo en más eutrófico (Figura 2.3). La Oligotroficación describe el proceso de un lago en la dirección alternativa, hacia oligotrofia.

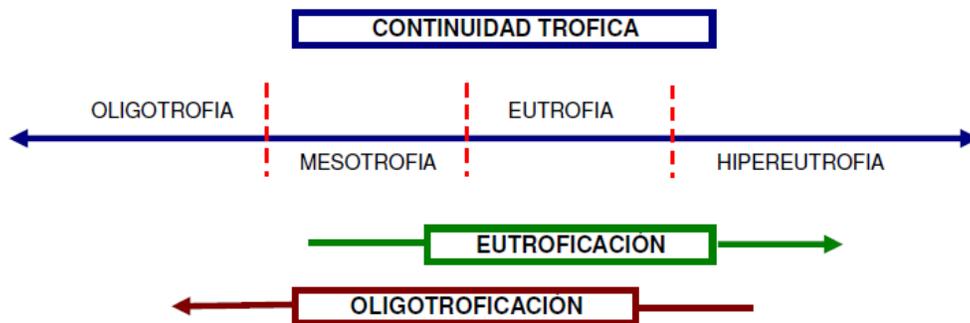


FIGURA 2.3 EUTROFICACIÓN Y OLIGOTROFICACIÓN EN CUANTO A LA CONTINUIDAD TROFICA

Originalmente, la eutroficación se consideraba como un proceso natural, que se llevaba a cabo durante millones de años, en el cual un lago o embalse recibía los aportes de su cuenca de drenaje, los mismos que consistían en nutrientes, sedimentos y otros materiales alóctonos, con el tiempo sucedía que el sistema acuoso del lago se transformaba en una ciénaga, la cual al consolidarse se convertía en un sistema terrestre. Este proceso toma lugar en cientos de miles de años y es irreversible.

Actualmente es posible hablar de una “Eutroficación Cultural”, determinada por la intervención del hombre, el cual debido a su necesidad de extensión transforma su entorno. Las descargas de aguas servidas por ejemplo, son una de las más antiguas causas de la eutroficación cultural, ya que estas son ricas en nutrientes contribuyendo al cambio trófico del cuerpo receptor; otro ejemplo son los excesos de fertilizantes, los cuales son ricos en fósforo, sean este de origen natural o químico. La deforestación también influye en la carga de nutrientes, ya que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección, “lavan” la capa fértil y se llevan consigo los nutrientes de la misma.

Los principales indicadores de la eutroficación, son básicamente cuatro: El fósforo, el nitrógeno, la clorofila y la profundidad de Secchi.

La Tabla 2.2, muestra los valores límite, de los indicadores nombrados, con los que puede realizarse una clasificación trófica de los embalses, según la OCDE.

TABLA 2.2 VALORES LÍMITES DE LA OCDE PARA UN SISTEMA COMPLETO DE CLASIFICACIÓN TROFICA

CATEGORIA TROFICA	TP	chl	chl	MEDIA DE SECCHI	MINIMO DE SECCHI
		media	Máxima		
Ultraoligotróficos	<4	<10	<2,5	>12	>6
Oligotrófico	<10	<2,5	<8	>6	>3
Mesotrófico	Oct-35	2,8 - 8	8,0 - 25	6,0 - 3,0	3,0 - 1,5
Eutrófico	35-100	8,0 - 25	25,0 - 75	3,0 - 1,5	1,5 - 7,0
Hipertrófico	>100	>25	>75	<1,5	<0,7

FUENTE: OLMOS GARCÍA CARLOS, EUTROFICACIÓN EN LOS EMBALSES DE ALTURA, INCACHACA-JHAMPATURI, 2000

Donde:

TP: Media anual de la concentración de fósforo total en el lago ($\mu\text{g/l}$)

Chl media: Media anual de la concentración de clorofila en las aguas superficiales ($\mu\text{g/l}$)

Chl máxima: Pico anual de la concentración de clorofila en las aguas superficiales ($\mu\text{g/l}$)

Media de secchi: media anual de la transparencia de la profundidad de secchi (m)

Mínimo de secchi: Mínimo anual de la transparencia de la profundidad de secchi (m)

Las fuentes de nutrientes que causan la eutroficación pueden ser:

a) **NATURALES:**

- Aportes atmosféricos: precipitación.
- Resuspensión de los sedimentos del fondo.
- Liberación desde los sedimentos anóxicos.
- Descomposición y excreción de organismos.
- Fijación de nitrógeno por microorganismos.

b) ANTROPOGÉNICAS:

- Vertidos de residuos industriales, agrícolas, urbanos y de plantas de tratamiento.
- Deforestación que aumenta la erosión y disminuye el reciclaje de nutrientes en la cuenca,
- Fertilizantes aplicados en exceso.
- Aguas residuales de granjas (silos, tambos).
- Tanques sépticos.
- Uso de detergentes con grandes cantidades de fósforo.
- Aporte de contaminantes por agua de lluvia.
- Sistema de alcantarillado de ciudades y pueblos.

Independientemente del origen de los nutrientes, los efectos suelen ser los mismos, En la Tabla 2.3 se indican los efectos generales de la eutroficación en el medio acuático.

TABLA 2.3 EFECTOS DE LA EUTROFICACIÓN
<ul style="list-style-type: none">• Anoxia (sin presencia de oxígeno), que mata a los peces e invertebrados y también lleva a la liberación de gases desagradables y perjudiciales• Proliferación de algas y el crecimiento incontrolado de otras plantas acuáticas• Producción de sustancias tóxicas por algunas especies de algas azul-verdes• Altas concentraciones de materia orgánica que tratada con cloro puede crear compuestos cancerígenos• Deterioro de valor recreativo de un lago o embalse debido a la disminución de transparencia del agua• Acceso restringido para la pesca y actividades recreativas debido a la acumulación de plantas• Cambios en la composición de las especies de peces de más a menos especies deseables (en términos económicos y de ingesta de proteínas)• Disminución de los rendimientos pesqueros ocasionado significativamente por el agotamiento del oxígeno en la columna de agua y las capas de fondo de agua de lagos y embalses

FUENTE: UNEP, WATER QUALITY: THE IMPACT OF EUTROPHICATION, 2001

2.2. Florecimientos Algales

El fenómeno del florecimiento de algas, también conocidas como “blooms”, son eventos de multiplicación y acumulación de las microalgas que viven libres en los sistemas acuáticos, o fitoplancton, que pueden sintetizar y acumular toxinas o excretarlas al medio (toxinas identificadas de tipo neurotóxicas, hepatotóxicas y epidérmicas) causando daño a otros organismos del medio acuático. Este fenómeno se presenta tanto en los cuerpos acuáticos continentales como en los oceánicos.

Sin embargo, se ha registrado un incremento mundial en su frecuencia y duración, asociado a las condiciones de eutroficación de los cuerpos de agua⁵. Por lo que actualmente, este fenómeno es motivo de creciente preocupación mundial, debido al impacto nefasto sobre los ecosistemas acuáticos al afectar a la flora y fauna tanto acuática como terrestre de organismos silvestres y domésticos, mediante diversos medios (trama trófica, condiciones de anoxia por degradación bacterial).

Las floraciones (Figura 2.4.) pueden ser desarrolladas por diversas especies de fitoplancton pertenecientes a las Clases Bacillariophyceae (diatomeas), Chlorophyceae (algas verdes), Dinophyceae (dinoflagelados), Chrysophyceae y Cryptophyceae dentro de las algas eucariotas, y Cyanophyceae (cianobacterias) como procariota.

Son muchas las especies de cianobacterias que desarrollan floraciones en ambientes de agua dulce, salobre o marina. En la Tabla 2.4 se mencionan los géneros de cianobacterias de aguas continentales (dulce y salobre), que han registrado floraciones tóxicas con mayor frecuencia a nivel mundial. Se destacan *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Cylindrospermopsis* y *Nodularia*, por su amplia distribución y por los efectos sobre otros organismos debido a la presencia de toxinas, denominadas genéricamente cianotoxinas,

⁵ Hallegraeff, G. 1992. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32(2): 79-99.

TABLA 2.4. GENEROS DE CIANOBACTERIAS QUE DESARROLLAN FLORACIONES TOXICAS	
Anabaena	Microcystis
Anabaenopsis	Nodularia
Aphanizomenon	Nostoc
Aphanocapsa	Oscillatoria
Coelosphaerium	Phormidium
Cylindrospermopsis	Planktothrix
Gloeotrichia	Pseudanabaena
Gomphosphaeria	Synechocystis
Lyngbya	Synechococcus

FUENTE: FACULTAD DE CIENCIAS URUGUAY, LIMNOLOGIA, 2010

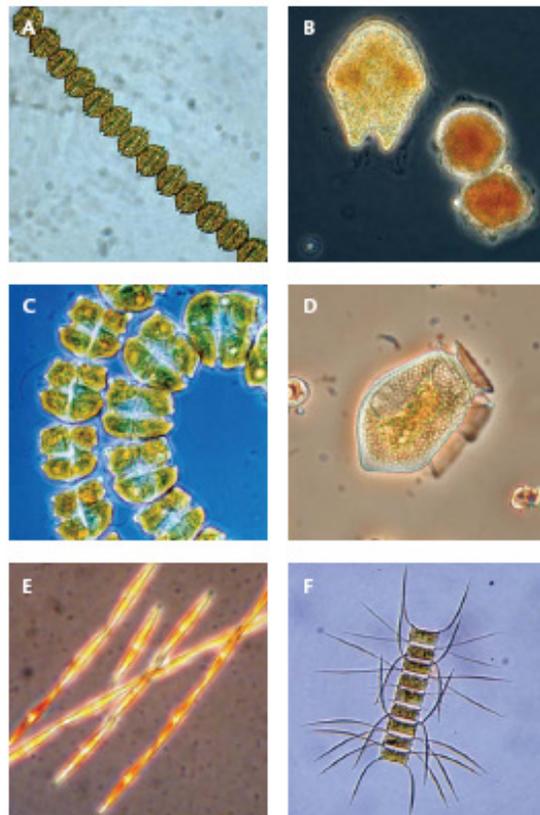


Figura 2.4 Fotomicrograffas de Floraciones de Algas Nocivas de organismos comúnmente encontradas en los regímenes de surgencia en todo el mundo: (A) Cadena de *Alexandrium catenella*, que causa la intoxicación parálitica por mariscos (PSP), (B) Dinoflagelados que causan la marea roja sanguinea Akashiwo (células grandes), acompañado por dos células *Lingulodinium polyedrum*, que causan el envenenamiento yesotoxina; (C) de la cadena de *Gymnodinium catenatum*, lo que provoca PSP; (D) *Dinophysis acuta*, que causa intoxicación diarreica (DSP); (E) *Pseudo-nitzschia australis*, que causa intoxicación amnésica (ASP); (F) Cadena de *Chaetoceros* sp., Responsable de la muerte de peces.

FUENTE: KUDELA R, PITCHER G, PROBYN T, FIGUEIRAS F, MOITA T, TRAINER V; HARMFUL ALGAL BLOOMS IN COASTAL UPWELLING SYSTEMS. 2005

Las toxinas producidas por organismos formadores de floraciones algales nocivas son responsables de una serie de enfermedades humanas asociadas con el consumo de organismos marinos y, en algunos casos, por su exposición a las mismas en forma de aerosoles. Además de los efectos en la salud humana, estas toxinas son responsables de la muerte de cientos de toneladas de peces y moluscos, estando relacionadas con la muerte de mamíferos, aves y otros animales marinos a través de su transferencia por la cadena trófica⁶.

En general, la clasificación de estas toxinas se basa en los signos y síntomas del tipo de síndrome o envenenamiento que provocan (Tabla 2.5), algunas veces acompañado por el nombre de la toxina o del animal que las contiene⁷.

TABLA 2.5. ENFERMEDADES ASOCIADAS A LOS FLORECIMIENTOS ALGALES NOCIVOS

Síndrome	Organismos causante	Toxina	Ruta de adquisición	Manifestación clínica
Intoxicación por ciguatera	<i>Gambierdiscus toxicus</i> (béntico) <i>Ostreopsis siamensis</i> , etc.	Ciguatoxina	Transferencia a través de la cadena trófica; consumo de peces carnívoros	Gastroenteritis aguda, síntomas neurológicos como parestesias
Intoxicación paralítica	<i>Alexandrium catenella</i> , <i>A. minutum</i> , <i>A. tamarenis</i> , <i>A. ostenfeldii</i> , <i>Gymnodinium catenatum</i> , <i>Pyrodinium bahamense</i> var <i>compressum</i> , etc.	Saxitoxinas	Consumo de mariscos cultivados, o de vida libre, en las áreas afectadas	Parestesia y otras manifestaciones neurológicas, parálisis muscular, problemas respiratorios y muerte
Intoxicación neurotóxica	<i>Karenia brevis</i> , <i>K. brevisulcatum</i> , etc.	Brevetoxinas	Consumo de mariscos cultivados en áreas afectadas; aerosoles de las toxinas por efecto de las olas	Síntomas neurológicos y gastrointestinales, dificultad para en la respiración e irritación de ojos
Intoxicación diarreica	<i>Dinophysis acuta</i> , <i>D. acuminata</i> , <i>D. fortii</i> , <i>Prorocentrum lima</i>	Ácido okadáico y dinofisistoxinas	Consumo de mariscos cultivados en áreas afectadas	Gastroenteritis aguda
Intoxicación por Azaspirácidos	<i>Protoperidinium crassipes</i>	Azaspirácidos	Consumo de mariscos cultivados en áreas afectadas	Efectos neurotóxicos con severo daño en intestino e hígado
Intoxicación amnésica	<i>Pseudo-nitzschia multiseriata</i> , <i>P. pseudodelicatissima</i> , <i>P. australis</i> , etc.	Ácido domóico y sus isómeros	Consumo de mariscos cultivados en áreas afectadas	Manifestaciones gastrointestinales, neurológicas, generando amnesia en casos severos, coma, muerte

FUENTE: Adaptado por Anderson et.al. (2001). MONITORING AND MANAGEMENT STRATEGIES FOR HARMFUL ALGAL BLOOMS IN COASTAL WATERS

⁶ Hallegraef, G. 1992. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32(2): 79-99.

⁷ Poletti R, Milandri A & Pompei M (2003) Algal biotoxinas Of Marine Origin: New Indications from the European Union. *Vet. Res. Comm.* 27:173-182.

Los factores que favorecen el desarrollo de floraciones de cianobacterias pueden resumirse en:

1- La eutroficación de los sistemas acuáticos debido al incremento de los niveles de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (N y P) por:

a) Los aportes puntuales de aguas residuales domésticas o industriales no tratadas, con alto contenido de N y P, vertidas directa o indirectamente a los sistemas acuáticos.

b) Los aportes difusos de aguas provenientes del lavado de suelos de áreas cultivadas y fertilizadas con N y P, de suelos deforestados o de campos con ganadería (ya sea extensiva, tambos, etc.).

2- El alto tiempo de permanencia del agua en el sistema acuático, que favorece el dominio de las cianobacterias en la comunidad fitoplanctónica. El manejo del tiempo de residencia, mediante la regulación de flujos de salida o de entrada, constituye una forma de control o prevención de estos eventos.

3- La aridez de regiones próximas o dentro de la cuenca hidrográfica, o los efectos similares debidos a suelos sin vegetación, que aportan minerales al agua además de provocar mayor turbidez por la presencia de partículas disueltas. Esto interfiere con la actividad fotosintética de otras algas que mueren y sedimentan, dejando un nicho que es colonizado por las cianobacterias.

4- Existen otros factores naturales como el incremento de la temperatura ($> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) e intensidad luminosa o la baja turbulencia del agua por vientos menores a 3 m/s, que junto a la eutroficación son los factores más importantes que favorecen el desarrollo de las floraciones. También contribuye el efecto de la predación natural (trama alimenticia) sobre las especies de fitoplancton que compiten con las cianobacterias que desarrollan floraciones.

Los florecimientos de algas con elevada toxicidad, pueden afectar por medio de las cadenas tróficas no sólo a los miembros de la comunidad acuática, sino también a los organismos terrestres incluyendo al hombre.

En este sentido, puede causar:

- El agotamiento del oxígeno y la mortandad de los peces
- Llevar a la muerte al ganado y otros animales por la ingestión de algas.
- Trastornos gastrointestinales en los seres humanos pueden estar asociados con el consumo de agua que contenían las floraciones de cianobacterias.
- El contacto con el agua e incluso los aerosoles emitidos por las floraciones de cianobacterias pueden causar reacciones alérgicas en algunas personas.
- Las cianobacterias filamentosas y las especies de clorofitas o algas verdes, pueden causar mal sabor y los olores en el agua y los peces,
- Así como la obstrucción de los filtros de tratamiento de aguas o instalaciones industriales.
- Impactos en la salud pública debido a la ingesta de mariscos y perjuicios económicos derivados de florecimientos tóxicos.

El surgimiento de la floración cianobacterial a nivel superficial es contrarrestado por la alta irradiación y concentración de oxígeno, llevándolas a la muerte fotodinámica y descomposición. La consecución de estos procesos de degradación puede conducir a la utilización bacteriana de todo el oxígeno virtualmente disuelto, y al desarrollo de condiciones anóxicas, acompañadas por depósitos de sulfuros negros, olores indeseables de amonio, sulfuro de hidrógeno, hidroxilamina y metano. El desarrollo de estos eventos, se trate de especies toxigénicas o no, de todos modos son nocivos, debido a los impactos negativos que se derivan de ellos.

2.3. Sedimentos

Se da el nombre genérico de sedimentos a las partículas procedentes de rocas o suelos y que son acarreadas por las aguas y por los vientos. Todos estos materiales, después de cierto acarreo, finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces, en lagos o lagunas, en el mar y en las partes bajas de la cuenca, principalmente en la planicie, lo que da origen a la formación de ésta y a su levantamiento.

Prácticamente todos los sedimentos están compuestos por cantidades variables de materia orgánica, granos minerales, fragmentos de roca, y los carbonatos precipitados y otros, tales como los óxidos de hierro, manganeso y aluminio. El tamaño de las partículas de los sedimentos es la propiedad más importante en la comprensión de las interacciones del agua-sedimentos que lleva a la eutroficación de lagos y embalses.

En general, la sedimentación se produce principalmente debido a las formas tradicionales de uso sostenible de la tierra las cuales están desapareciendo rápidamente con el aumento de la población y la invasión de las economías basadas en efectivo, incluso en zonas rurales remotas

Los ríos suelen ser la fuente más importante de los sedimentos de un lago o embalse. Las características físicas y químicas de los sedimentos fluviales reflejan la composición geológica y geomorfológica de la cuenca. La modificación de la superficie de la tierra por el hombre debido a la deforestación, la agricultura intensiva y la ganadería tiene un gran impacto resultante en la exposición del suelo desnudo susceptible a la erosión por el aire y el agua.

La erosión puede ser acelerada en las regiones no protegidas, el acceso de animales y la adición directa de los desechos animales y agentes patógenos.

La urbanización de las cuencas hidrográficas da como resultado una reducción de la superficie de tierra disponible para la infiltración del agua de lluvia y de superficie, que se traduce en un aumento del escurrimiento y el caudal del río con rápidos incrementos en el nivel de respuesta a la precipitación del río.

Las partículas erosionadas de las superficies de la tierra por el viento puede ser transportado a grandes distancias. Las partículas procedentes de la actividad volcánica emitidas a la atmósfera superior son transportadas a nivel mundial. Las partículas del suelo en la atmósfera son del tamaño de grano fino y puede tener altas concentraciones de carbono orgánico, fósforo, nitrógeno y micro-contaminantes orgánicos derivados de herbicidas y plaguicidas utilizados para la fertilización y control de plagas en la agricultura.

Estos depósitos en el aire son las principales fuentes de nutrientes a lagos remotos con la urbanización pequeña.

El exceso de sedimentos degrada la calidad del agua para el consumo humano, para la vida silvestre y para el suelo de la siguiente manera:

- El agua contaminada con sedimentos se torna turbia, lo que impide la alimentación de peces y puede conducir a la reducción de supervivencia.
- Los sedimentos reducen la cantidad de luz que penetra el agua, privando a las plantas de luz necesaria para la fotosíntesis.
- El agua turbia impide el crecimiento de vegetación natural en el agua.
- Los sedimentos alteran la cadena alimenticia natural al destruir el hábitat donde viven los organismos más pequeños y provoca disminuciones masivas de poblaciones de peces.
- Los sedimentos aumentan el costo del tratamiento del agua potable y pueden causar problemas de olor y sabor.

- En el caso de las instalaciones hidroeléctricas, la pérdida de capacidad de generación es posible.
- Los sedimentos pueden obstruir las agallas de los peces, lo que reduce su resistencia a enfermedades, disminuye los índices de crecimiento y afecta el desarrollo de huevos y larvas.
- La pérdida de suelos y sedimentos suspendidos también contribuye a la contaminación y la eutroficación del lago debido a los sedimentos generalmente incluye nutrientes unidos, herbicidas, pesticidas y otros productos químicos.
- Los nutrientes transportados por los sedimentos pueden activar a las algas verde azuladas que liberan toxinas
- El exceso de sedimentos de los suelos erosionados contiene materia orgánica que contribuye al agotamiento del oxígeno en el agua
- El exceso de sedimentos en los embalses provoca la pérdida de capacidad de almacenamiento,
- Por lo tanto el volumen y la magnitud de las inundaciones pueden aumentar.
- El aumento en las zonas poco profundas, como resultado de la sedimentación puede interferir con las actividades recreativas como paseos en bote y pesca.

La remoción de sedimentos podría ser la única forma práctica de mejorar un lago o embalse que se ha visto muy sedimentado. Existen diversos métodos de remoción del sedimento. El principal problema es la localización de un lugar adecuado para el depósito del material.

Estos mecanismos son altamente efectivos, sin embargo ocurren una serie de impactos negativos en el agua (aumento de la turbidez y disminución de la concentración de oxígeno, entre otros) y en las áreas circundantes. Algunos de ellos tienen corta duración y pueden ser minimizados con un plan adecuado.

- Remoción previo vaciado.
 - Este procedimiento requiere el vaciado del lago y la utilización de maquinaria pesada para la extracción del sedimento.

Existen dos formas de remoción del sedimento sin vaciar el lago:

- Dragado húmedo y seco.
 - El primero de los métodos se realiza mediante succión del sedimento desde el fondo y posterior deposición en una balsa flotante. El sedimento se deposita rápidamente, mientras que el agua sobrante escurre directamente al lago.
- Dragado seco.
 - Durante el proceso de dragado seco en cambio, el material removido es transportado a una planta de lavado donde el lixiviado se deposita en lagunas de sedimentación. El método de dragado seco otorga mejores resultados, ya que el lago no permanece turbio.
- Aislamiento físico del sedimento.
 - En lagos pequeños se han desarrollado diferentes estrategias para cubrir el fondo con sedimentos externos pobres en nutrientes (por ej. arena) o con materiales plásticos aislantes.
- Oxigenación del sedimento.
 - La introducción de oxígeno disuelto al sedimento permite la descomposición de la materia orgánica acumulada. Por otra parte, en presencia de oxígeno la mayoría de los compuestos que contienen fósforo son insolubles. Por esta razón, este es un método muy efectivo para el aislamiento químico del sedimento. En lagos profundos la oxigenación del sedimento se logra mediante la

instalación de equipos de circulación de agua que previenen los procesos de estratificación.

- Método Riplox de oxidación del sedimento.
 - El objetivo de este método es reducir la carga interna de fósforo mediante la oxidación de la superficie del sedimento, provocando que el fosfato precipite en complejos metálicos. Se bombea directamente en el sedimento $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y FeCl_3 , lo que provoca el incremento de la concentración de oxígeno y hierro, aumentando la retención del fósforo. El pH es estabilizado con la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en un pH cercano a la neutralidad las bacterias denitrificadores provocan el pasaje de nitrato a nitrógeno gaseoso.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES

3.1. Casos Nacionales

La calidad del agua no es un criterio completamente objetivo, pero está socialmente definido y depende del uso que se le piense dar al líquido (WRI, 2000), por lo que cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua se debe ubicar en el contexto del uso probable que tendrá.

La calidad natural del agua está determinada por las condiciones geomorfológicas del suelo y es relevante para evaluar si una variación en la concentración de los parámetros medidos se debe a cambios naturales o a efectos de las actividades humanas, incluyendo el desarrollo geotérmico (Bianchini et al. 2005).

La evaluación de la calidad del agua es el proceso de valoración de la naturaleza física, química y biológica del agua en relación con la calidad natural, los efectos humanos y los usos deseados, principalmente, los que puedan afectar la salud humana y la de los sistemas acuáticos (Chapman 1996). Se define en función de un conjunto de parámetros físico-químicos y/o microbiológicos, así como de sus valores de aceptación o de rechazo, y son útiles para evaluar puntualmente los contaminantes específicos presentes en el agua (Arcos et al. 2005)

El análisis de la situación en México puede abordarse a diferentes escalas. Una evaluación global del país puede ser útil para la comparación con otros países o para medir el desempeño y compromisos adquiridos por México (por ejemplo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), de la cual México es miembro desde 1994). Sin embargo, un análisis a esta escala resulta de utilidad limitada para identificar los problemas locales y, por consiguiente, diseñar los programas pertinentes al interior del país.

La mayoría de los cuerpos de agua superficiales del país reciben descargas de aguas residuales sin tratamiento, lo que ocasiona distintos niveles de contaminación en prácticamente todos estos cuerpos. Desde 1974 comenzó a operar un monitoreo de la calidad del agua de los cuerpos más importantes y en los que se habían detectado problemas de contaminación. Actualmente la Red está a cargo de la Comisión Nacional del Agua órgano administrativo desconcentrado de la SEMARNAP.

La CONAGUA realiza esta evaluación de la calidad del agua tomando en cuenta tres indicadores, la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La DBO5 y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua, provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales de origen municipal y no municipal. La primera determina la cantidad de materia orgánica biodegradable y la segunda mide la cantidad total de materia orgánica químicamente oxidable. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos.

Los SST tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. En este sentido, ha sido demostrado que la biodiversidad se encuentra en relación directa con la transparencia del agua. Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas con deforestación severa (CONAGUA, 2007).

Es importante mencionar que los sitios con monitoreo de calidad del agua están ubicados en zonas con una alta influencia antropogénica. La CONAGUA tenía establecida en 2007 una red nacional de monitoreo que contó con 1 014 sitios, distribuidos a lo largo y ancho del país, CONAGUA, 2008, (Figura 3.1).

Si se evalúa la calidad del agua con base en la DQO, la CONAGUA (2008) señala como contaminadas algunas zonas del país, principalmente las zonas industriales o grandes concentraciones urbanas de Veracruz, Jalisco, Guanajuato, Puebla, Distrito Federal, México, Tlaxcala, Michoacán, Sonora y Sinaloa (Figura 3.2).

FIGURA 3.1 ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA



NOTA: Solo incluye sitios de monitoreo de la calidad del agua en cuerpos de agua superficiales interiores [lagos y presas]

FUENTE: CONAGUA, Subdirección General Técnica, 2009

FIG. 3.2 Calidad del Agua de los Recursos Hídricos Superficiales de México



NOTA: Solo incluye sitios de monitoreo de la calidad del agua en cuerpos de agua superficiales interiores [lagos y presas]

FUENTE: CONAGUA, Subdirección General Técnica, 2009

En algunas de estas investigaciones se han evaluado y relacionado diversos aspectos (biológicos, fisicoquímicos, geológicos, económicos, etc.); en otras se han enfocado en unos cuantos parámetros en específico.

Entre estas investigaciones a cargo de la CONAGUA destacan las siguientes:

- **CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO ALMOLOYA** (UBICACIÓN: ESTADO DE MÉXICO)
 - CONFORME A PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS, 1991-2004
- **CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO CATEMACO** (UBICACIÓN: VERACRUZ)
 - CONFORME A PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS, 1990-2006
- **CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO CHAIREL** (UBICACIÓN: TAMAULIPAS, VERACRUZ)
 - CONFORME A PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS, 1990-2006
- **CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO CHAPALA** (UBICACIÓN: JALISCO Y MICHOACÁN)
 - CONFORME A PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS, 1990-2006
- **CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO PÁTZCUARO** (UBICACIÓN: MICHOACÁN)
 - CONFORME A PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS, 1990-2006
- **CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO EL RODEO** (UBICACIÓN: MORELOS)
 - CONFORME A PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS, 1990-2001

Otras investigaciones de otras dependencias importantes son:

- **CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA VALLE DE BRAVO-AMANALCO**
[Estudio realizado por el Instituto de Ecología, UNAM]
 - DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS BÁSICOS Y NUTRIENTES.

- **CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA EN EFLUENTES SECUNDARIOS POR EL LAGO ARTIFICIAL “NABOR CARRILLO”, MÉXICO** [Estudio realizado por el Instituto de Ingeniería, UNAM]
 - DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.

- **APORTE DE NUTRIENTES POR FUENTES NO PUNTUALES EN LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO, MÉXICO** [Estudio realizado por el IMTA]
 - DETERMINACIÓN DE APORTES DE NUTRIENTES POR FUENTES DIFUSAS Y PUNTUALES EN LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO

- **VARIACIÓN DE LOS ORGANISMOS FITOPLANCTONICOS Y LA CALIDAD DEL AGUA EN EL LAGO DE CHAPALA, JALISCO, MÉXICO** [Estudio realizado por la Universidad de Guanajuato]
 - DETERMINACIÓN DE DE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y FITOPLANCTON

- **ESTUDIO DE CONTAMINACIÓN EN EL LAGO CATEMACO** [Estudio realizado por la UAM-XOCHIMILCO]
 - DETERMINACIÓN DE DE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOLÓGICOS MICROBIOLÓGICOS Y SOCIO-CULTURALES.

Todas constituyen una valiosa fuente de información, pero mucha de esta información no es tan fácil obtener. Estos reportes son raramente consultados si se tiene la suerte de obtener una copia de los mismos y son poco considerados en la toma de decisiones para el manejo de este recurso. Una limitante a las comparaciones cronológicas es el hecho de tener metodologías diferentes en los estudios.

3.2. Casos Internacionales

La preocupación de los países por contar con agua suficiente en cantidad y calidad para sus diferentes actividades es cada vez mayor. A pesar de que en el planeta existe una cantidad considerable de agua estimada en 1400 millones de km³, solo el 2.5% es agua dulce y la mayor parte de la misma se encuentra en forma de hielo o de depósitos subterráneos de difícil acceso. De esta manera el agua disponible en teoría para las actividades humanas sería; en el mejor de los casos, del 0.01%. Además, esta mínima porción de agua frecuentemente se localiza en lugares inaccesibles o está contaminada, lo que dificulta su aprovechamiento (PNUMA,2002).

Bajo estas circunstancias, el agua se considerada como un factor crítico para el desarrollo de las naciones y, de hecho, quizá sea el recurso que define los límites del desarrollo sustentable (FNUM, 2001), ya que no solo es indispensable para el desarrollo económico y social de la humanidad sino también para el funcionamiento de los ecosistemas del planeta. De ahí la importancia de contar con información confiable acerca de la cantidad y la calidad de este recurso, en términos de su disponibilidad, usos y grado de deterioro.

Las estimaciones cuantitativas de la disponibilidad del agua no reflejan por completo el problema de la necesidad de este recurso, ya que la calidad del agua en la mayor parte del mundo está lejos de ser la adecuada. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una quinta parte de la población mundial no tiene acceso a agua libre de contaminantes (FNUAP, 2001), situación que se acentúa en áreas rurales donde no existe la posibilidad de que el agua tenga un tratamiento previo que mejore su calidad y posibilite su uso general.

Los trabajos de mayor importancia a nivel mundial se deben al índice desarrollado por la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos (U.S.N.S.F; por sus siglas en inglés), por ser el más utilizado y modificado en muchos países del mundo, tales como España, Brasil y Colombia, entre otros (Samboni et al. 2007).

En Costa Rica se aprobó en 2007 el Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales, que incorpora el uso de índice para evaluar su calidad fisicoquímica (Costa Rica 2007).

Los índices son herramientas rápidas para conocer en forma general el estado de un cuerpo de agua y observar su tendencia evolutiva (Sancha & Espinoza 2001).

- **En Bolivia,** Considera como parámetros básicos de control, los siguientes: DBO5 (demanda bioquímica del oxígeno) DQO (demanda química del oxígeno), Coliformes fecales, OD (oxígeno disuelto), Fosfato Total, entre otros.
- **En Colombia,** Señala que la entidad encargada del manejo y administración del recurso (EMAR deberá realizar periódicamente análisis pertinentes para obtener, por lo menos, la siguiente información: DBO5 (demanda bioquímica del oxígeno), DQO (demanda química del oxígeno), SS (Sólidos suspendidos), pH, OD (Oxígeno disuelto), Coniformes, entre otros.
- **En el Ecuador,** Entre los parámetros establecidos para el control que son comunes para los distintos usos son: pH, Coliformes Totales, DBO5 (demanda bioquímica del oxígeno), OD (Oxígeno disuelto), SST (sólidos suspendidos totales), adicionalmente considera parámetros de control del agua para riego: pH, SST(sólidos suspendidos totales), CE (conductividad eléctrica), RAS (razón de adsorción del sodio), Nitrógeno como N total;
- **En Venezuela,** clasifica las aguas en 7 tipos estableciendo en cada una de ellas niveles de calidad exigibles de acuerdo con los usos a que se destinen, siendo común, el control de los siguientes parámetros, pH, Organismos Coliformes Totales, OD (oxígeno disuelto), sólidos flotantes, además de otros parámetros.

Se aprecia que la mayoría de estos países monitorean y obtienen información sobre los indicadores: pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica del oxígeno, sólidos suspendidos y coliformes totales en los cuerpos de agua, que son coincidentes con los que son monitoreados en el Japón y otros países como son China, Filipinas e India.

En la actualidad los índices desarrollados involucran desde un parámetro hasta más de 30 y no existe uno universal debido a las condiciones y los problemas ambientales específicos de cada área (Samboni et al. 2007). Por esto, la aplicación y el seguimiento continuo de cada parámetro permiten adecuar el índice a nivel regional y local.

No existen acuerdos ambientales vinculantes de carácter mundial que obliguen a los Estados a proteger los recursos hídricos de la contaminación, ya que se trata de una responsabilidad nacional de los gobiernos

No obstante, la importancia de proteger los recursos de agua dulce se ha reconocido en instrumentos internacionales no vinculantes, como el Programa 21, aprobado en 1992 por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. En el capítulo 18 del Programa 21 en particular, relativo a la protección de la calidad y el suministro de los recursos de agua dulce: aplicación de criterios integrados para el aprovechamiento, el ordenamiento y el uso de los recursos de agua dulce, se establece como objetivo general “velar por que se mantenga un suministro suficiente de agua de buena calidad para toda la población del planeta y preservar al mismo tiempo las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas, adaptando las actividades humanas a los límites de la capacidad de la naturaleza y combatiendo los vectores de las enfermedades relacionadas con el agua”.

Sin embargo los principales obstáculos para esa evaluación son la falta de recursos financieros, el carácter fragmentado de los servicios hidrológicos y la escasez de personal capacitado. Al mismo tiempo, a los países en desarrollo cada vez les es más difícil acceder a las tecnologías avanzadas de reunión y manejo de datos. Sin embargo, la creación de bases nacionales de datos reviste

importancia decisiva para evaluar los recursos hídricos y para mitigar los efectos de inundaciones, sequías, desertificación y contaminación.

4. CASO ESTUDIO: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL VASO DE LA PRESA VALLE DE BRAVO

4.1. Presa Valle de Bravo

El lago de Valle de Bravo es un lago artificial producto de la construcción de una presa en 1947 como parte del Sistema Hidroeléctrico "Miguel Alemán"; de ahí que también reciba el nombre de Presa Miguel Alemán o Presa Valle de Bravo. El sistema hidroeléctrico constaba de siete presas que generaban 458,775 kilowatts/hora, con cinco presas en el Estado de México y dos en Michoacán (véase Figura 4.1). Este sistema ya no está en operación, y las presas que lo conformaban ahora son parte del Sistema Hidráulico Cutzamala, que abastece de agua potable a la zona metropolitana de la Ciudad de México y Toluca y es manejado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

El Sistema Cutzamala es el sistema hidráulico más importante del centro del país, brindando 5 mil 920 litros por segundo para el Estado de México y 9 mil 716 litros por segundo para el Distrito Federal, lo cual equivale al 40% del agua potable consumida en estas áreas metropolitanas ($15.6 \text{ m}^3/\text{seg}$ en total). La primera etapa del Sistema comenzó en 1982 con la integración de la Presa Villa Victoria y su segunda etapa en 1985 con la integración de la Presa Valle de Bravo. El agua del Sistema es llevada a la enorme Planta Potabilizadora Los Berros (cerca de Villa Victoria), en donde es potabilizada y después bombeada a Toluca y a la Ciudad de México, venciendo un desnivel de 1366 metros gracias a un costoso sistema de bombeo.

La Presa Valle de Bravo, al aportar el 38% del agua total del Sistema ($6 \text{ m}^3/\text{s}$), es la más grande y relevante del mismo; además, su belleza escénica ha permitido un desarrollo turístico muy relevante para la región (Figura 4.2 y 4.3).

Esquema del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán

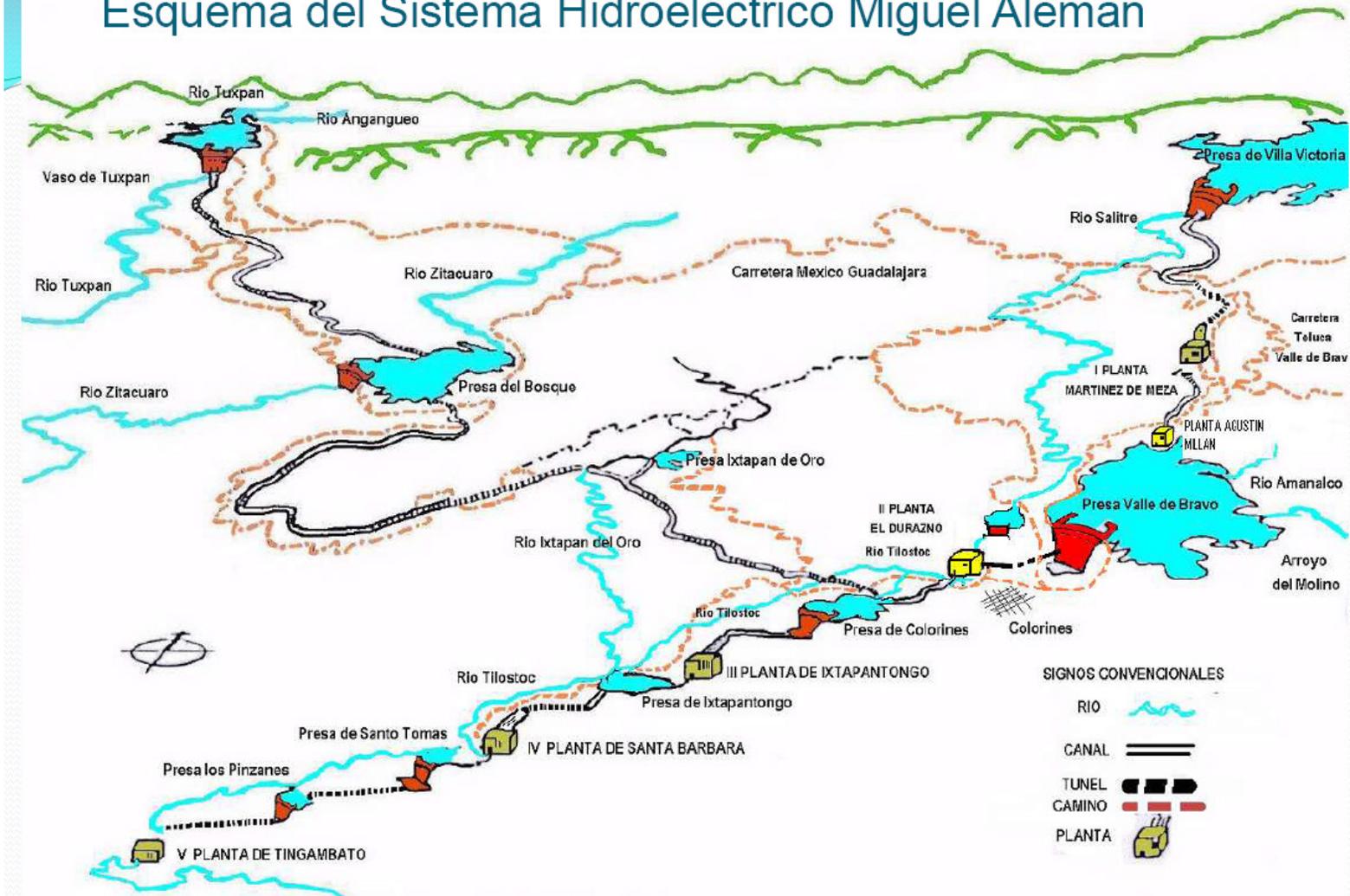
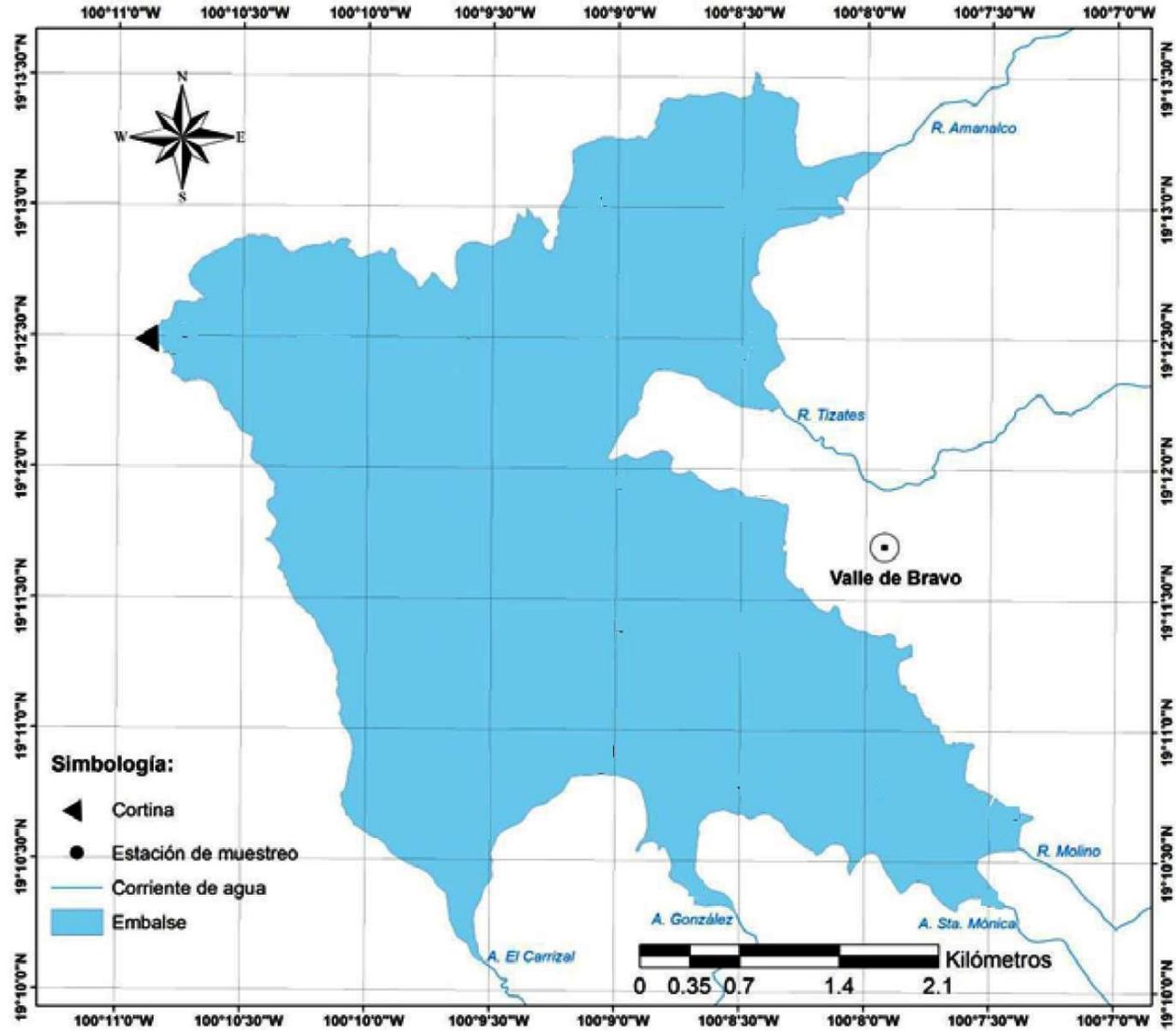


FIGURA 4.1 – SISTEMA HIDROELECTRICO “MIGUEL ALEMAN”

FUENTE: CONAGUA (SISTEMA CUTZAMALA), 2010

FIGURA 4.3 – UBICACIÓN DE LA PRESA VALLE DE BRAVO

FUENTE: CONAGUA, SISTEMA CUTZAMALA, 2010



La Presa Valle de Bravo tiene una capacidad de almacenamiento de 457 millones de metros cúbicos y abarca una superficie de 2,900 hectáreas. La profundidad promedio del lago es de 21 metros. La zona más profunda del lago se encuentra cerca de la cortina de la presa, con una profundidad de 39 metros cuando el lago está en su máximo nivel.

La presa Valle de Bravo recibe los aportes de los ríos Amanalco, Los Hoyos, San Diego, El Carrizal, Las Flores, La Yerbabuena, Subcuenca San Gaspar, Subcuenca Microondas, Subcuenca Ladera Oeste y AW Valle de Bravo. Siendo el más importante el río Amanalco, debido a su superficie. La presa ha disminuido la capacidad de almacenamiento en un 21% desde su construcción en 1947, debido al azolve producto de la erosión, el cual es acarreado por los ríos que desembocan en el embalse. La erosión es a su vez provocada por la deforestación y las prácticas agrícolas mal empleadas.

La pérdida de suelos en la cuenca muestra tasas de erosión de 44 toneladas por hectárea al año en el cultivo de maíz, esto es, casi 4 veces más arriba de la erosión permisible en un manejo ambiental sano, que es de 12 toneladas por hectárea anualmente.

El nivel de la presa fluctúa durante el año dependiendo de la precipitación y de la extracción realizada. Generalmente, aumenta de nivel a partir de septiembre (con la acumulación de escurrimientos de lluvia de las laderas y la disminución del nivel de extracción, que como se trato en la sección anterior es mayor de julio a septiembre); llega a su nivel más alto a finales de octubre y empieza a bajar en marzo, alcanzando su nivel más bajo en junio, que es cuando reinicia la época de lluvia. Por lo anterior, el lago se encuentra en niveles bajos durante el verano.

4.2. Sitios de muestreo

Como parte del proyecto de investigación “MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE EL USO DE LA PERCEPCIÓN REMOTA”, se llevó a cabo una campaña de muestreo en el vaso de la presa Valle de Bravo, durante octubre de 2010, con el objetivo de tener información actualizada sobre la calidad del agua.

Los sitios de muestreo fueron determinados a partir de un análisis digital de imágenes satelitales correspondientes a la zona del embalse.

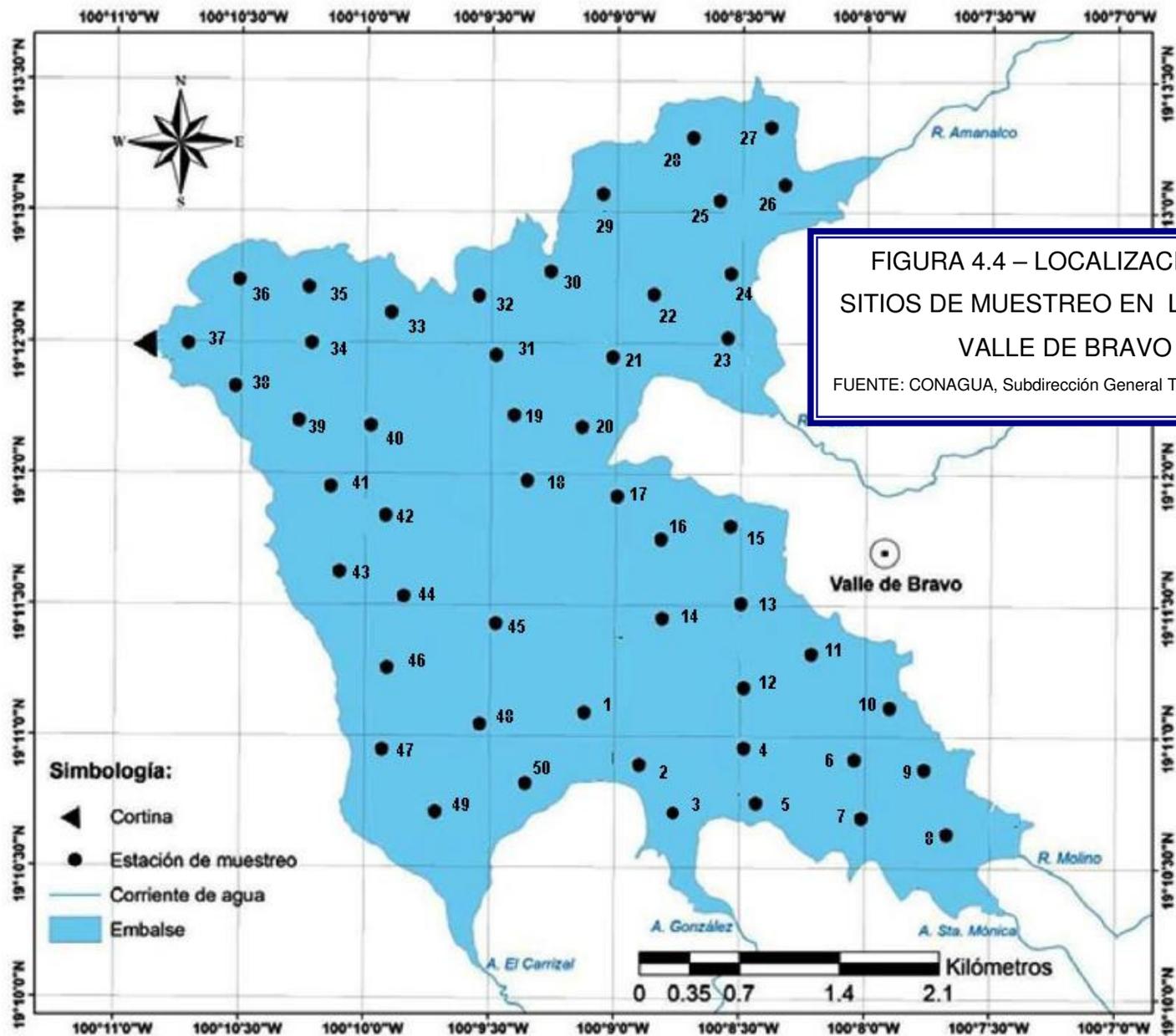
Los trabajos en campo consistieron en la obtención y preservación de muestras. La determinación de algunos parámetros fue *in situ*, otros fueron determinados el mismo día del muestreo con equipo de campo, el resto fueron determinados en laboratorio.

La determinación de los sitios de muestreo en el vaso de la presa Valle de Bravo fue mediante imágenes satelitales, las cuales se analizaron digitalmente agrupando los diferentes datos de la imagen en clases espectrales. Con base en el análisis espectral e incluyendo sitios de muestreo en todo el embalse, se definió la ubicación de 50 sitios.

La Tabla 4.1 presenta las coordenadas geográficas de los sitios de muestreo. Los renglones sombreados son estaciones donde se determinaron parámetros complementarios (Coliformes, DBO5, etc.). El muestreo en campo se realizó el 2 de Octubre de 2010. La Figura 4.4 muestra la localización de los sitios de muestreo.

TABLA 4.1
COORDENADAS
DE LOS SITIOS DE
MUESTREO
(PRESA VALLE DE
BRAVO)

Nº de Muestra	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
1	19°11'13.9"N	100°08'07.4"O
2	19°10'47.4"N	100°07'43.7"O
3	19°10'36.0"N	100°07'58.2"O
4	19°10'41.8"N	100°08'12.9"O
5	19°10'59.5"N	100°08'09.4"O
6	19°11'00.0"N	100°08'37.7"O
7	19°10'50.9"N	100°08'48.3"O
8	19°10'58.9"N	100°09'00.2"O
9	19°10'47.2"N	100°09'29.4"O
10	19°10'30.1"N	100°09'37.2"O
11	19°10'34.8"N	100°09'45.2"O
12	19°11'03.2"N	100°09'23.4"O
13	19°11'10.7"N	100°09'41.3"O
14	19°11'37.2"N	100°09'22.0"O
15	19°11'27.0"N	100°09'37.3"O
16	19°11'31.3"N	100°10'00.3"O
17	19°11'51.3"N	100°09'59.8"O
18	19°11'41.5"N	100°09'41.8"O
19	19°11'57.9"N	100°09'35.7"O
20	19°12'02.0"N	100°09'27.5"O
21	19°12'14.2"N	100°09'44.5"O
22	19°12'08.8"N	100°09'53.0"O
23	19°12'06.3"N	100°10'13.4"O
24	19°12'18.3"N	100°10'28.1"O
25	19°12'36.9"N	100°10'27.1"O
26	19°12'20.4"N	100°10'06.9"O
27	19°12'35.8"N	100°10'05.6"O
28	19°12'44.3"N	100°10'00.9"O
29	19°12'35.8"N	100°09'45.0"O
30	19°12'29.4"N	100°09'32.6"O
31	19°12'43.1"N	100°09'25.1"O
32	19°12'44.1"N	100°09'07.7"O
33	19°12'42.7"N	100°08'49.3"O
34	19°13'11.9"N	100°08'58.8"O
35	19°13'02.4"N	100°08'44.9"O
36	19°13'13.7"N	100°08'30.7"O
37	19°13'06.3"N	100°08'25.7"O
38	19°12'53.8"N	100°08'36.3"O
39	19°12'39.5"N	100°08'31.6"O
40	19°12'25.3"N	100°08'32.3"O
41	19°12'27.9"N	100°09'00.2"O
42	19°12'12.4"N	100°09'01.0"O
44	19°11'53.0"N	100°09'10.5"O
45	19°11'39.5"N	100°09'04.8"O
47	19°11'33.1"N	100°08'46.5"O
49	19°11'34.1"N	100°08'23.4"O
50	19°11'18.1"N	100°08'28.6"O



4.3. Trabajos de campo y laboratorio

Los trabajos de campo consistieron en la toma de muestras simples de agua en envases limpios (1 litro) para la determinación de parámetros físico-químicos y toma de muestras en frascos winkler (estériles y declorados) para la determinación de análisis bacteriológico.

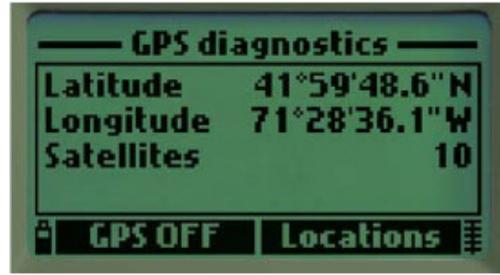
En cada punto de muestreo se tomó varias medidas in situ de parámetros físicos:

- ✓ pH,
- ✓ Temperatura,
- ✓ Conductividad Eléctrica,
- ✓ Oxígeno disuelto
- ✓ Sólidos disueltos totales
- ✓ Salinidad
- ✓ Presión atmosférica
- ✓ y la Turbiedad

Estas mediciones se realizaron utilizando equipo portátil:

- ✓ 1 medidor multiparamétrico con GPS HANNA HI 9828
- ✓ 1 disco de Secchi

El medidor multiparamétrico con GPS HANNA HI 9828 permitió la determinación de varios de los parámetros de calidad del agua y permitió el registro de las coordenadas geográficas del sitio donde fueron obtenidas las muestras. La Figura 4.5 muestra el medidor multiparamétrico con GPS.



Muestra la posición actual y el número de satélites.

Figura 4.5 Medidor multiparamétrico con GPS HI 9828

Las muestras colectadas fueron transportadas a la Ciudad de México preservando las muestras a baja temperatura y siguiendo las recomendaciones que se presentan en la Tabla 4.2

Los análisis microbiológicos de coliformes totales y fecales fueron realizados en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería con el método de Filtración con Membrana, que determina cuantitativamente la presencia/ausencia de las bacterias: Coliformes Totales y fecales

TABLA 4.2 - RESUMEN DE PARÁMETROS MUESTREADOS, SUS CARACTERÍSTICAS PARA LA TOMA DE MUESTRAS, PRESERVACIÓN Y TIEMPO DE ANÁLISIS

PARÁMETRO	VOLUMEN MÍNIMO REQUERIDO (mL)	RECIPIENTE	PRESERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO DE ANÁLISIS
OXIGENO DISUELTO	-----	-----	ANALIZAR INMEDIATAMENTE	-----
TEMPERATURA DE AGUA	-----	-----	ANALIZAR INMEDIATAMENTE	-----
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)	1000	PLÁSTICO	4° C	48 HRS
COLIFORMES FECALES Y TOTALES	150	BOLSA O FRASCO DE VIDRIO ESTERIL	PREVIAMENTE CON Na ₂ S ₂ O ₃ , 4° C	24 HRS
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	1000	PLÁSTICO	4° C	7 DÍAS
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	-----	-----	ANALIZAR INMEDIATAMENTE	-----
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)	-----	-----	ANALIZAR INMEDIATAMENTE	-----

EN NEGRITAS - PARÁMETROS *IN SITU*
Na₂S₂O₃ - TIOSULFATO DE SODIO AL 10%

El procedimiento para llevar a cabo la toma de muestras, para los análisis físico-químicos, fue el siguiente:

1.- Se enjuagaba el envase con el agua del vaso de la presa, para después tomar la muestra.

Para los análisis bacteriológicos, los frascos winkler no se enjuagaban ya que contenían tiosulfato de sodio como decolorante. Se metía el frasco bajo la superficie, teniendo cuidado especial en evitar que el agua que entraba al frasco tocara primero las manos de quien tomaba la muestra, ya que esto provocaría la contaminación de dicha muestra; una vez que se tenía aproximadamente al hombro del frasco, éste se tapaba. Cada muestra fue marcada con un número con el que se le podría identificar, el cual se registraba a su vez en la memoria del medidor multiparamétrico con GPS HANNA HI 9828, almacenando las coordenadas y la hora del muestreo, así como otros parámetros.

Las Figuras 4.6 y 4.7 muestran el procedimiento de toma de muestras simples y para análisis microbiológicos.



Figura 4.6. Recolección de muestras simples para análisis físico-químicos

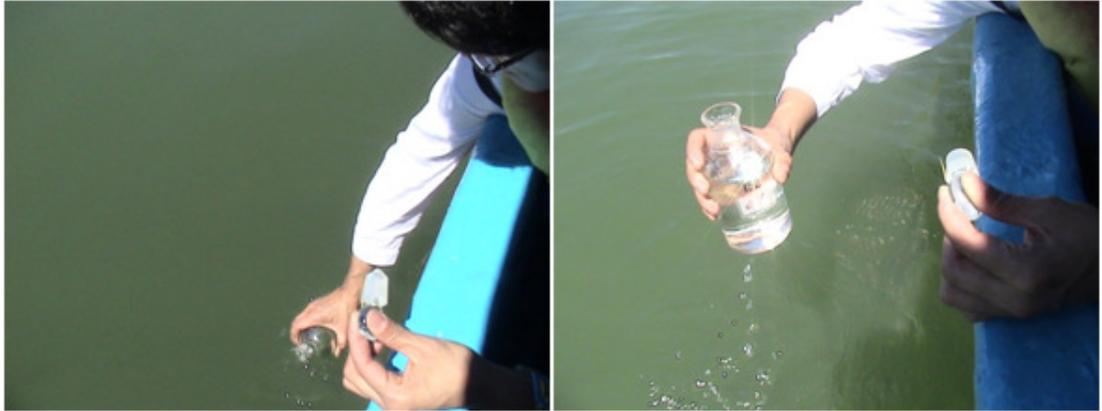


Figura 4.7 Obtención de muestras con el frasco Winkler

Para la preservación de las muestras tomadas fue necesario conservarlas en hielo hasta que fueron trasladadas al laboratorio al día siguiente, (previamente bien tapadas y etiquetadas).

Para las mediciones realizadas *in situ* con ayuda del medidor multiparamétrico con GPS HANNA HI 9828, fue necesario calibrarlo mediante la función *calibración rápida* la cual verifica el funcionamiento y la calibración de la sonda con una única solución de calibración (HI 9828-25).

Bastó con enroscar sobre la sonda el vaso de calibración lleno con la solución, seleccionar “Quick calibration” (CALIBRACION RÁPIDA) en el menú y pulsar OK. También se puede realizar una calibración individual usando múltiples puntos de calibración. El dispositivo se muestra en la Figura 4.8.

Para realizar las mediciones con el dispositivo bastó con conectar la sonda al medidor, fijar el capuchón protector a la sonda y sumergirla en el sitio en donde se tomó la muestra. Las lecturas de los parámetros se visualizaban en el medidor y fueron guardándose en el mismo para revisarlas posteriormente.

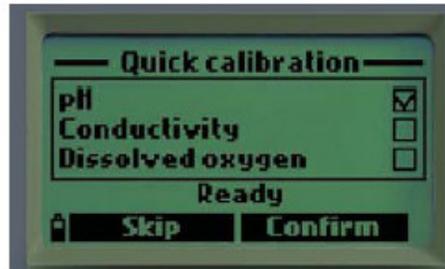
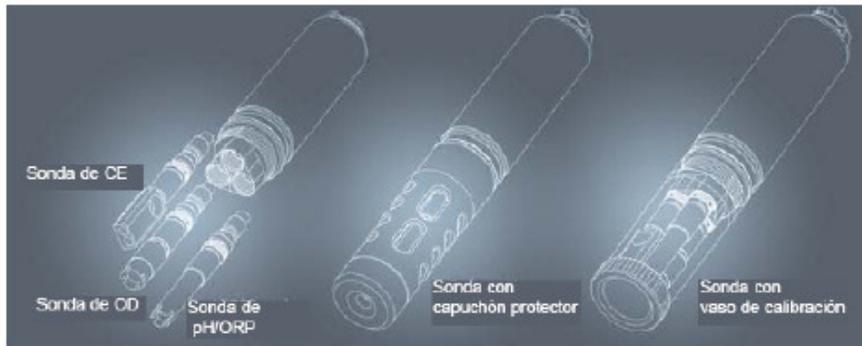


Figura 4.8. Calibración rápida preparada para uso en el campo

Medición de turbiedad en el campo

El disco de Secchi es un instrumento utilizado en la medición de la transparencia del agua. Se considera que esta es una medición integradora, puesto que la transparencia en un punto específico es un factor que depende de la condición del agua en términos de la cantidad o concentración de materia suspendida en la columna de agua. Esta materia puede estar constituida por partículas inorgánicas (minerales y sedimentos) o materia orgánica (microorganismos, algas, materia en descomposición). El disco es fácil de maniobrar y prácticamente cualquier persona puede tomar la lectura de profundidad de dicho instrumento.

FIG. 4.9.
Determinación de la turbiedad
mediante el disco de Secchi



Análisis de muestras en campo

Una vez concluido el muestreo en la presa Valle de Bravo el cual duro aproximadamente 7 horas se determinaron los siguientes parámetros:

- ✓ Fosfatos
- ✓ Nitrógeno amoniacal
- ✓ Nitratos

Estas mediciones se realizaron durante la noche del mismo día y la madrugada del día siguiente utilizando el Espectrofotómetro HACH DR 2800, este aparato tiene programas almacenados, que permiten realizar la medición de parámetros. Para cada medición se selecciona el programa y se sigue el procedimiento tal y como se indica en el manual; para realizar estas mediciones debe agregarse uno

o, en algunos casos, dos reactivos a la muestra, agitar y esperar un tiempo de reacción, limpiar las celdas e introducir las en el Espectrofotómetro HACH DR 2800, para la medición del parámetro correspondiente en mg/l.

La Figura 4.10 muestra el espectrofotómetro usado en campo.



Figura 4.10. Manejo y operación de espectrofotómetro HACH DR 2800

En laboratorio

El domingo 3 de Octubre del 2010 a partir de las 14:00 horas, iniciaron los trabajos en Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería, iniciando con los análisis de los siguientes parámetros:

- ✓ coliformes totales y fecales,
- ✓ demanda bioquímica de oxígeno,
- ✓ sólidos suspendidos totales,
- ✓ y medición de turbiedad con el método nefelométrico

Determinación de coliformes totales y fecales

La determinación de microorganismos coliformes fecales y totales por el método de Filtración de Membrana (FM), se fundamenta en filtrar volúmenes específicos de la muestra a través de filtros de membrana (típicamente con poros de 0,45 μ m de diámetro) los cuales retienen los coliformes totales y otras clases de bacterias presentes en la muestra e incubación sobre medio de lactosa enriquecido y una temperatura de 35°.

Para evitar la contaminación por microorganismos aéreos se esteriliza el material (pinzas y elementos del sistema de filtración que vayan a entrar en contacto con el agua), así como durante todo el proceso de filtración, y el llenado de las placas de petri, por la cual se colocaron dos mecheros encendidos en la mesa en que se trabajó

Se realizaron dos diluciones diferentes (10 y 30 ml de muestra en 100 ml de agua de dilución estéril).

El procedimiento fue como a continuación se describe:

- ♣ Se colocó un filtro de membrana estéril sobre el soporte de filtración, utilizando pinzas estériles.
- ♣ Se adaptó el embudo.
- ♣ Se conectó el matraz a una bomba eléctrica de vacío.
- ♣ Se filtra 100 ml de muestra haciéndose pasar a través del filtro previamente homogeneizada, efectuando el vacío necesario.
- ♣ Mediante las pinzas esterilizadas, se transfirió la membrana filtrante sobre el medio de cultivo contenido en una placa de Petri, de modo que la superficie de filtración quede hacia arriba.
Previamente se añadió sobre un cojín absorbente el medio de cultivo ENDO, para coliformes totales, o el medio de cultivo MFC si se trataba de coliformes fecales.
- ♣ Se cerró e invirtió la placa e incubó a 35°C durante 24h.

Una vez transcurrido este tiempo la caja de petri se revisó para realizar el conteo de las colonias que se formaron.

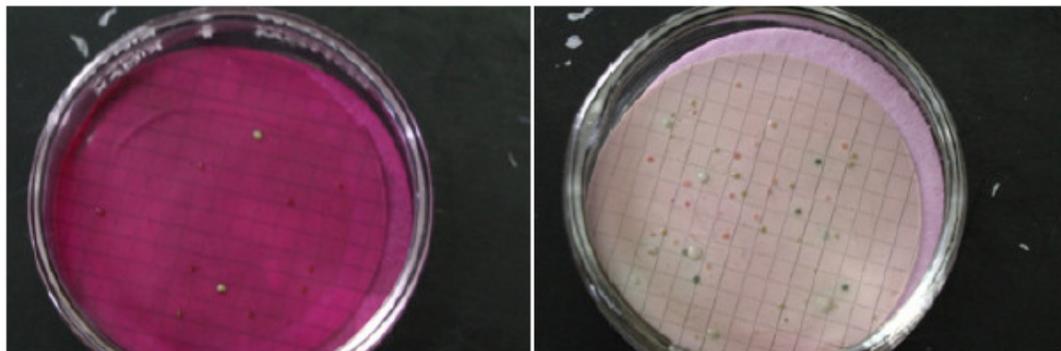
Imágenes del procedimiento de filtro de membrana se muestran en las Figuras 4.11 y 4.12. Algunos de los resultados se muestran en la Figura 4.13.



Figura 4.11. Método de filtración con membrana



Figura 4.12. Filtrado de membranas mediante bomba de vacío usando el matraz Kitasato



Fecales

Totales

Figura 4.13 Resultados finales de coliformes fecales y totales

Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días de incubación a 20 °C

$$DBO_5 \left[\frac{mg}{l} \right] = \frac{OD_{inicial} - OD_{final}}{\% \text{ de dilución}}$$

Para la determinación de este análisis se hicieron dos diluciones (5 y 10 %) para cada muestra.

- ♣ Se agregó 1 ml por 1 litro de agua, de cada una de las soluciones MgSO₄, CaCl₂, FeCl₃ y solución amortiguadora.
- ♣ Se saturó con oxígeno el agua de dilución

Dado que para la determinación de la DBO₅ es necesario conocer el oxígeno disuelto de la muestra, primero se fijó el oxígeno,

- ♣ Para fijar el oxígeno, se adicionó a la botella tipo Winkler que contiene la muestra (300 ml), 2 ml de sulfato manganoso.
- ♣ Se agregó 2 ml de la disolución alcalina de yoduro
- ♣ Se tapó la botella tipo Winkler, se agitó vigorosamente y se dejó sedimentar el precipitado.

Cuando el precipitado llegó al hombro de la botella, se mezcló nuevamente

- ♣ Se añadió 2 ml de ácido sulfúrico concentrado (véase Figura 4.14),

Se volvió a tapar y mezclar por inversión hasta completa disolución del precipitado.

- ♣ Se titula 200 ml de la muestra con la disolución estándar de tiosulfato de sodio 0,025 N agregando unas gotas de almidón

Se agitaba, hasta que la muestra regresó a su color original. Los mililitros de Sodio usados corresponden a la concentración de oxígeno disuelto inicial en mg/l de la muestra.

Después de 5 días de incubación a 20 °C de incubación se determinan el OD final en las diluciones de la muestras siendo necesario realizar el procedimiento antes descrito.

Las Figuras 4.15 y 4.16 muestran parte del procedimiento de la prueba.

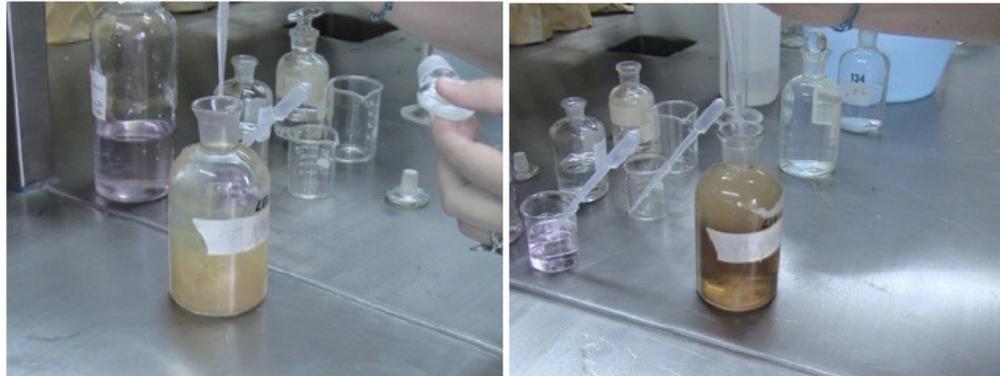


Figura 4.14. Aplicación de Acido Sulfúrico en el precipitado



Figura 4.15. Determinación de DBO5



Figura 4.16. Resultado final

Determinación de sólidos suspendidos totales (SST)

El principio de este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas así como la cantidad de materia orgánica contenido en aguas naturales y residuales, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de éstos.

El contenido de sólidos suspendidos totales se obtuvo de la siguiente forma:

$$SST \left[\frac{mg}{l} \right] = \frac{W_{SST} [mg] - W_{CG} [mg]}{V_m [l]}$$

Donde:

SST = Sólidos suspendidos totales

W_{SST} = Peso total del crisol Gooch con contenidos de sólidos suspendidos

W_{CG} = Peso del crisol Gooch

V_m = Volumen de la muestra

Para llevar a cabo la determinación de sólidos suspendidos totales se emplearon crisoles Gooch con filtro, que estaban a peso constante. El procedimiento fue el siguiente:

- ♣ Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de 550°C ± 50°C, durante una hora.
- ♣ Después de este tiempo se transfirió a la estufa a 103°C - 105°C aproximadamente 30 min
- ♣ Se sacaron y se enfriaron a temperatura ambiente dentro de un desecador
- ♣ Se pesaron los crisoles y se repitió el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtiene hasta que no haya una variación en el peso. Registrar como W_{CG}.
- ♣ Se sacaron las muestras del sistema de refrigeración y se agitaron para asegurar la homogeneización de la muestra.
- ♣ Se midió con una probeta, un volumen de 100 ml de la muestra seleccionada (V_M)

- ♣ Se filtro la muestra a través del crisol Gooch preparado anteriormente aplicando vacío, dejando que el agua drenara totalmente en cada lavado.
- ♣ Se suspende el vacío y se seca el crisol en la estufa a una temperatura de 103°C a 105°C durante 1 hora aproximadamente.
- ♣ Se sacó el crisol y se dejó enfriar en un desecador a temperatura ambiente y se determinó su peso registrado como peso W_{SST} .

Las Figuras 4.17, 4.18 y 4.19 muestran imágenes del procedimiento para la determinación de sólidos suspendidos.



Figura 4.17 Muestras colocadas en el desecador



Figura 4.18 Preparación de crisoles



Figura 4.19 Cálculo del peso total de sólidos suspendidos en la muestra

Determinación de la turbiedad

La determinación de la turbiedad se llevó a cabo en laboratorio empleando un nefelómetro Hach 2100 (Figura 4.20). El método nefelométrico se basa en la comparación de la intensidad de luz dispersada por la muestra, en condiciones definidas, y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez.

Este instrumento permite medir niveles de turbiedad en los rangos que van de: 0-0.2, 0 – 1, 0 – 10, 0 – 100 y 0 – 1000 UTN. Tiene cuatro patrones con los que se compara la muestra y esto permite seleccionar el patrón con el que se calibrará el instrumento.

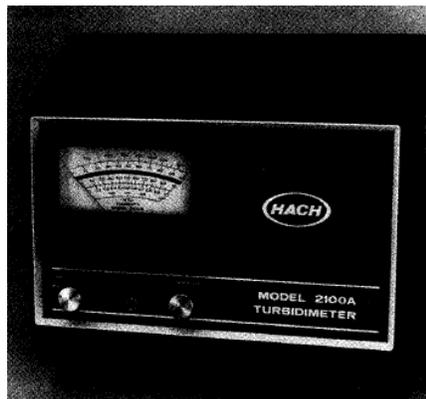


Figura 4.20. Turbidímetro de laboratorio

El funcionamiento básico del nefelómetro consiste en una fuente de luz para iluminar la muestra y uno o más detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior, para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90' de la vía de luz incidente (Fig. 4.21)

La cantidad de luz recibida es proporcional a la turbiedad de la muestra.

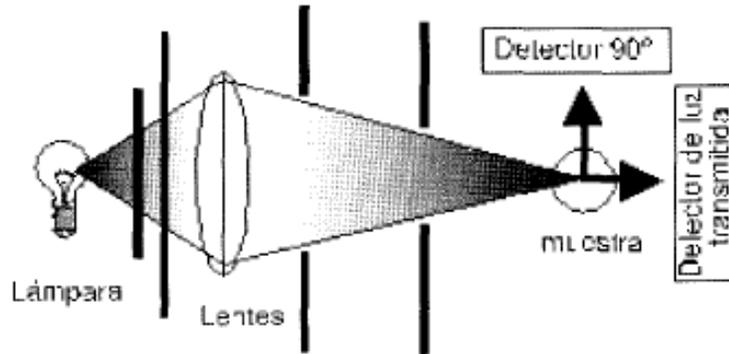


Figura 4.21 Estructura interna del Nefelómetro Hach 2100

Para la determinación de la turbiedad se encendió el tubo fotomultiplicador 30 minutos antes de usarlo para calentarlo. Mientras el aparato estaba apagado se ajustó al cero mecánico con el tornillo, se comparó el agua de muestra con los patrones que incluye el mismo aparato y se seleccionó el patrón con el que se calibró el aparato. Una vez que el aparato estaba calibrado se introdujo la celda que contenía el agua de la muestra a analizar, se tapó con el capuchón y se leyó en la escala correspondiente el valor de turbiedad en UTN, siempre teniendo cuidado de limpiar las celdas con una tela especial antes de introducir las muestras.

4.4. Trabajos de campo y laboratorio

El Tabla 4.3 y 4.4 presenta los resultados de calidad el agua obtenidos en los 47 sitios de muestreo.

TABLA 4.3 RESULTADOS DEL ESTUDIO REALIZADO EN EL EMBALSE DE LA PRESA VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)

ID. Muestra	Temp	pH	OD	Conductividad	SDT	SST
	°C		[mg/l]	µS/cm	[mg/l]	[mg/l]
1	22.33	9.06	6.24	156	78	0
2	22.41	9.06	6.6	167	83	0
3	22.26	9.09	7.08	163	81	0
4	22.03	9.10	6.6	165	82	24
5	22.42	9.08	6.36	161	80	1
6	22.35	9.12	6	161	81	7
7	22.27	9.12	7.56	161	80	1
8	17.34	8.46	6.6	1	0	3
9	22.44	9.15	6.12	161	80	1
10	22.62	9.12	6.24	162	81	1
11	22.49	9.11	6.72	160	80	19
12	22.32	9.14	13.08	152	76	14
13	22.40	9.12	7.2	159	80	15
14	22.42	9.14	7.08	160	80	12
15	22.39	9.10	7.8	164	82	27
16	22.34	9.13	8.64	162	81	15
17	22.30	9.09	7.2	157	78	9
18	22.43	9.15	9.72	158	79	9
19	22.38	9.14	7.8	160	80	8
20	22.55	9.15	8.16	161	80	19
21	22.44	9.13	8.4	164	82	16
22	22.34	9.15	8.88	162	81	11
23	22.37	9.11	8.28	165	82	17
24	22.26	9.14	7.92	165	82	18
25	22.12	9.13	8.4	165	82	13
26	22.21	9.10	8.4	163	81	19
27	22.22	9.11	8.28	162	81	21
28	22.58	9.11	8.76	164	82	21
29	22.38	9.11	9	159	80	14
30	22.28	9.12	9.24	165	83	13
31	22.21	9.10	9	160	80	38
32	22.29	9.13	9.36	162	81	10
33	22.57	9.17	10.08	164	82	12
34	22.50	9.08	10.08	165	82	11
35	22.56	9.15	9.84	160	80	14
36	22.57	9.08	9.6	166	83	13
37	22.62	9.13	9.84	165	82	13
38	22.58	9.15	9.72	160	80	8
39	22.67	9.18	10.44	164	82	13
40	22.63	9.16	10.2	164	82	31
41	22.51	9.17	10.2	163	81	17
42	22.52	9.15	10.44	163	82	24
44	22.38	9.14	10.32	164	82	23
45	22.21	9.11	10.32	162	81	17
47	22.22	9.13	10.8	164	82	15
49	22.51	9.14	11.04	163	81	16
50	22.30	9.10	10.8	163	81	14

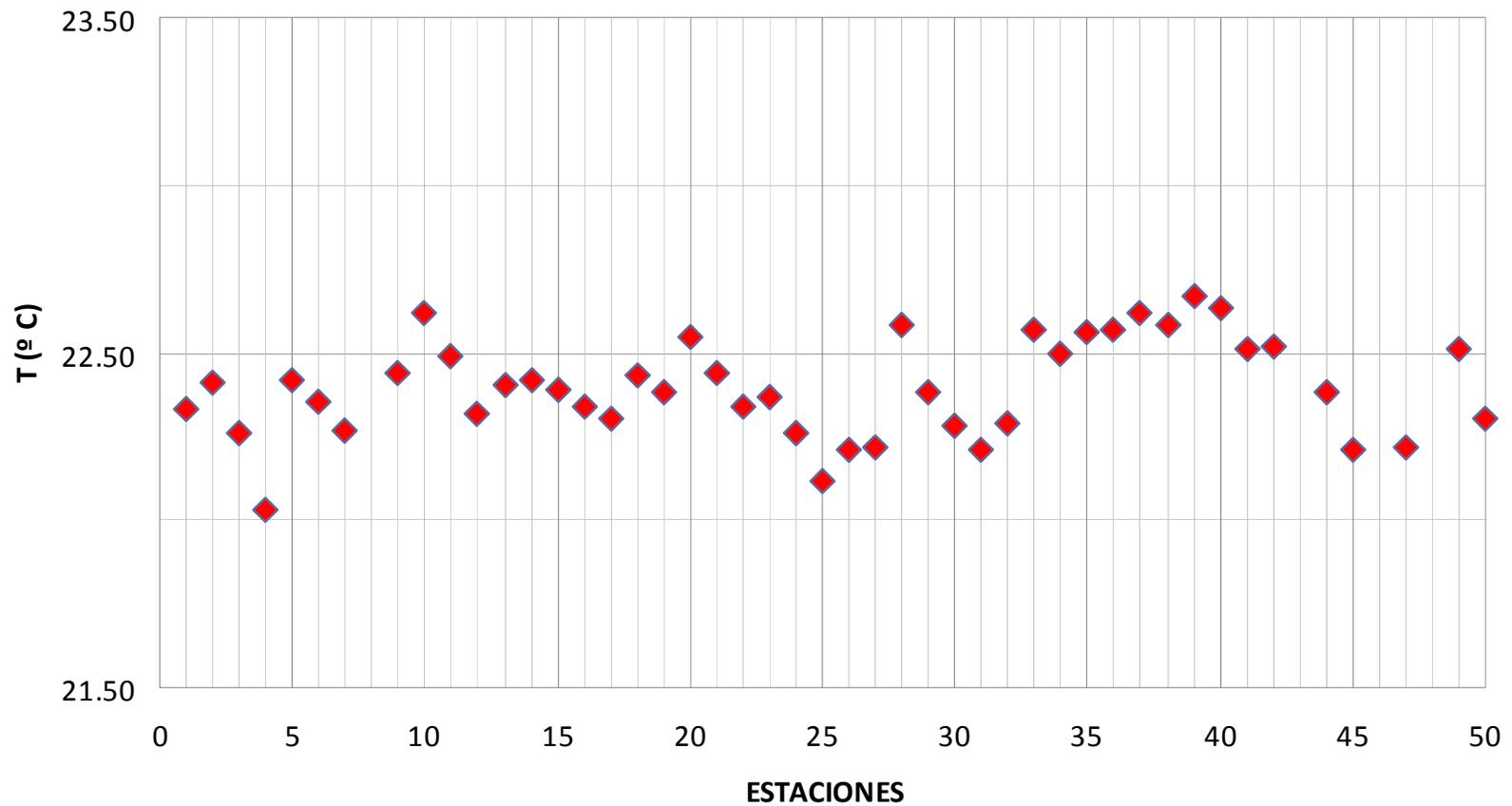
TABLA 4.4 PARAMETROS COMPLEMENTARIOS DEL ESTUDIO REALIZADO EN EL EMBALSE DE LA PRESA VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)

Estación	Coordenadas	DBO (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	CT (UFC)	CF (UFC)
3	19° 10 '41 "N - 100° 07 '58 " W	1	0.05	2.2	0.18	Incontable	Incontable
10	19° 10 '30 "N - 100° 09 '37 " W	7	0.01	3	0.12	Incontable	Incontable
25	19° 12 '03 "N - 100° 09 '27 " W	1.5	0	3.1	0.79	Incontable	Incontable
37	19° 12 '18 "N - 100° 10 '27 " W	2	0	3	0.14	Incontable	Incontable
40	19° 13 '06 "N - 100° 08 '26 " W	3	0.02	2.8	0.11	Incontable	Incontable
44	19° 12 '25 "N - 100° 08 '33 " W	10	0.02	3.2	0.14	Incontable	Incontable

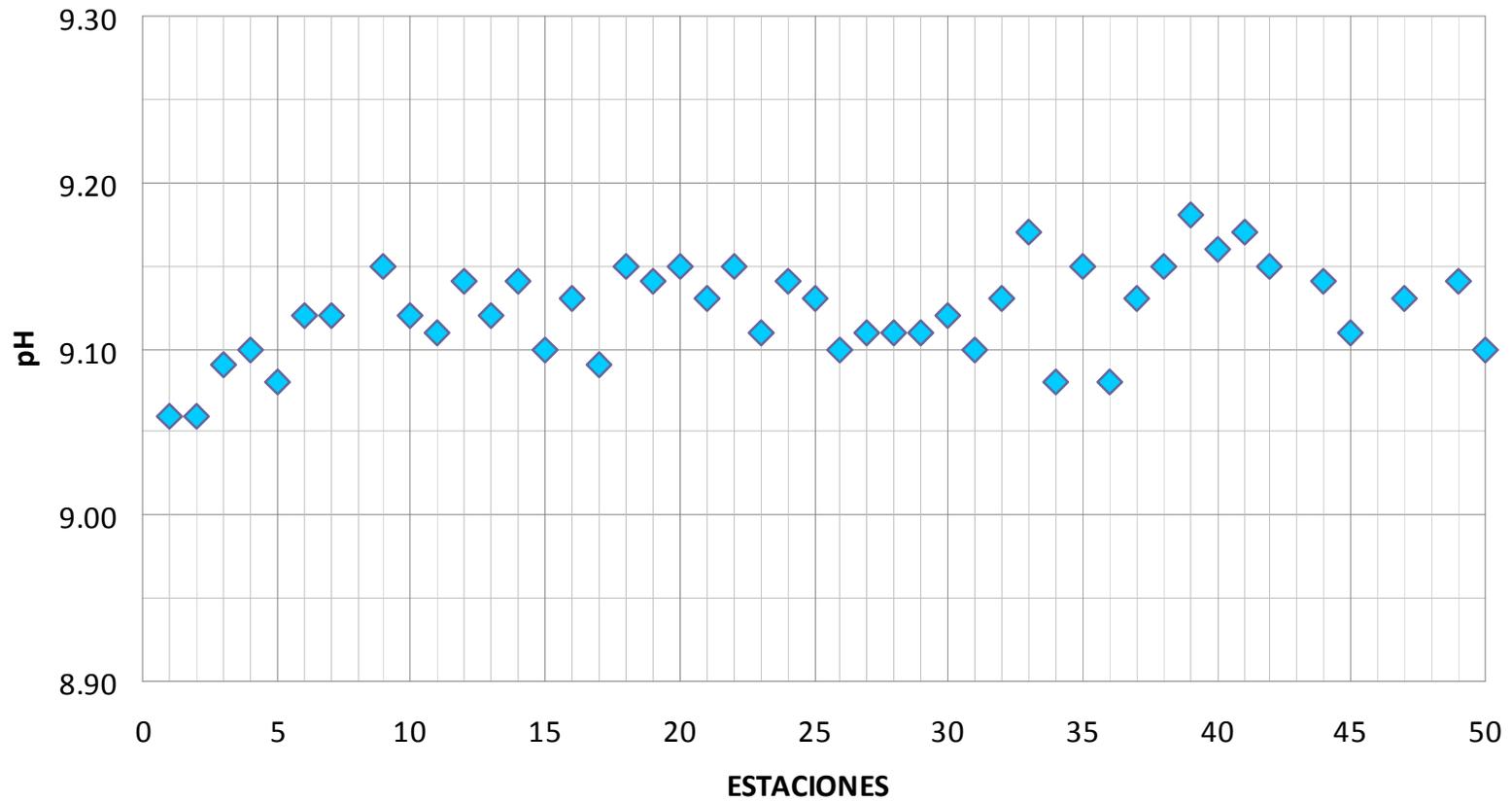
De los parámetros obtenidos in situ (temperatura, pH, turbiedad, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto y conductividad) se obtuvieron gráficas que muestran el valor de la concentración en cada estación. La información procesada se presenta de manera puntual en las graficas 4.1 a 4.6.

Los coliformes fecales y totales, nitrógeno amoniacal, nitratos, fosfatos y DBO5 se obtuvieron en 6 estaciones seleccionadas por estar cerca de las descargas y una estación se ubicó en el centro del embalse. Las gráficas 4.7 a 4.12 muestran la concentración de los parámetros medidos en las seis estaciones.

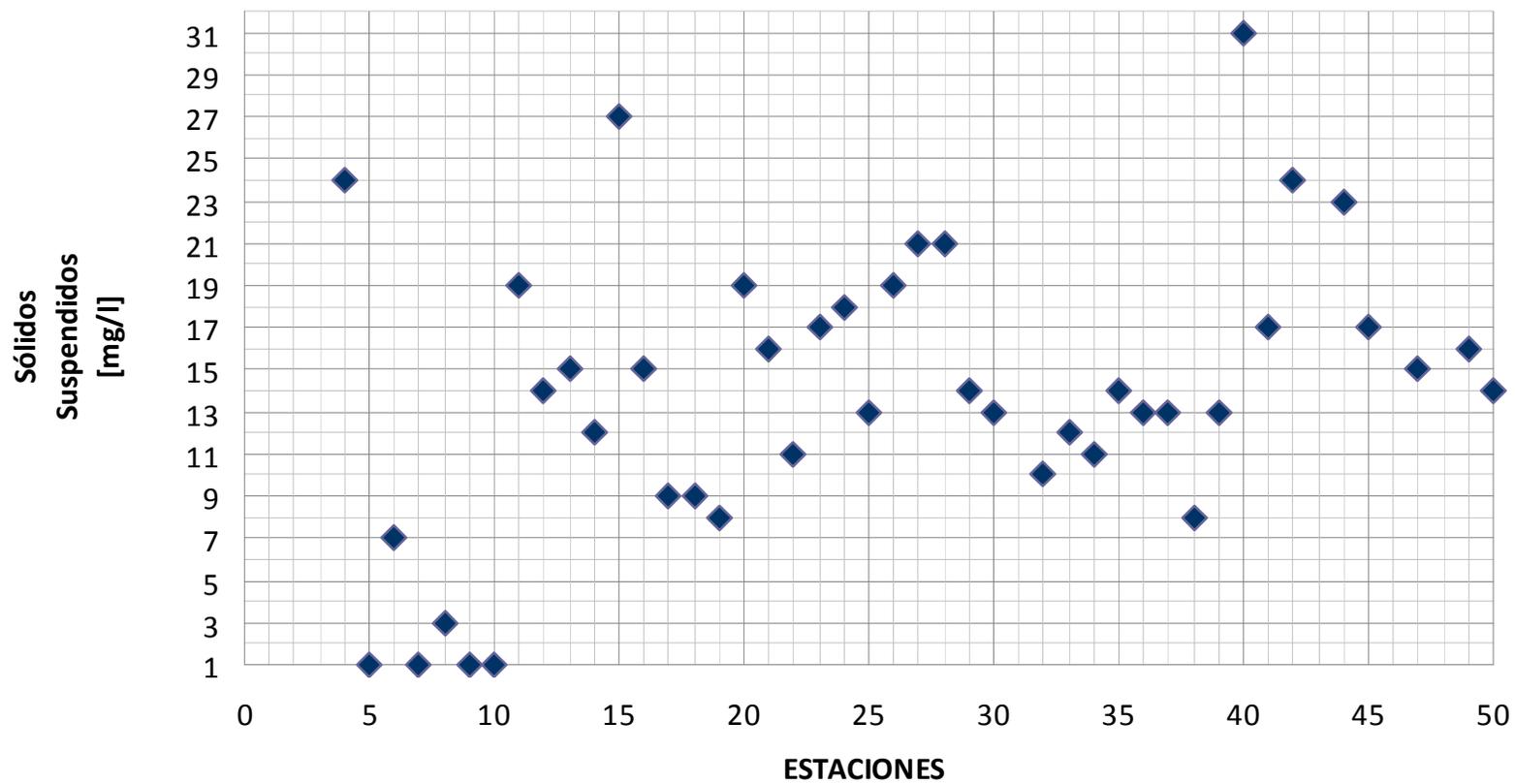
GRÁFICA 4.1 REPRESENTACIÓN PUNTUAL DE TEMPERATURA DEL AGUA EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



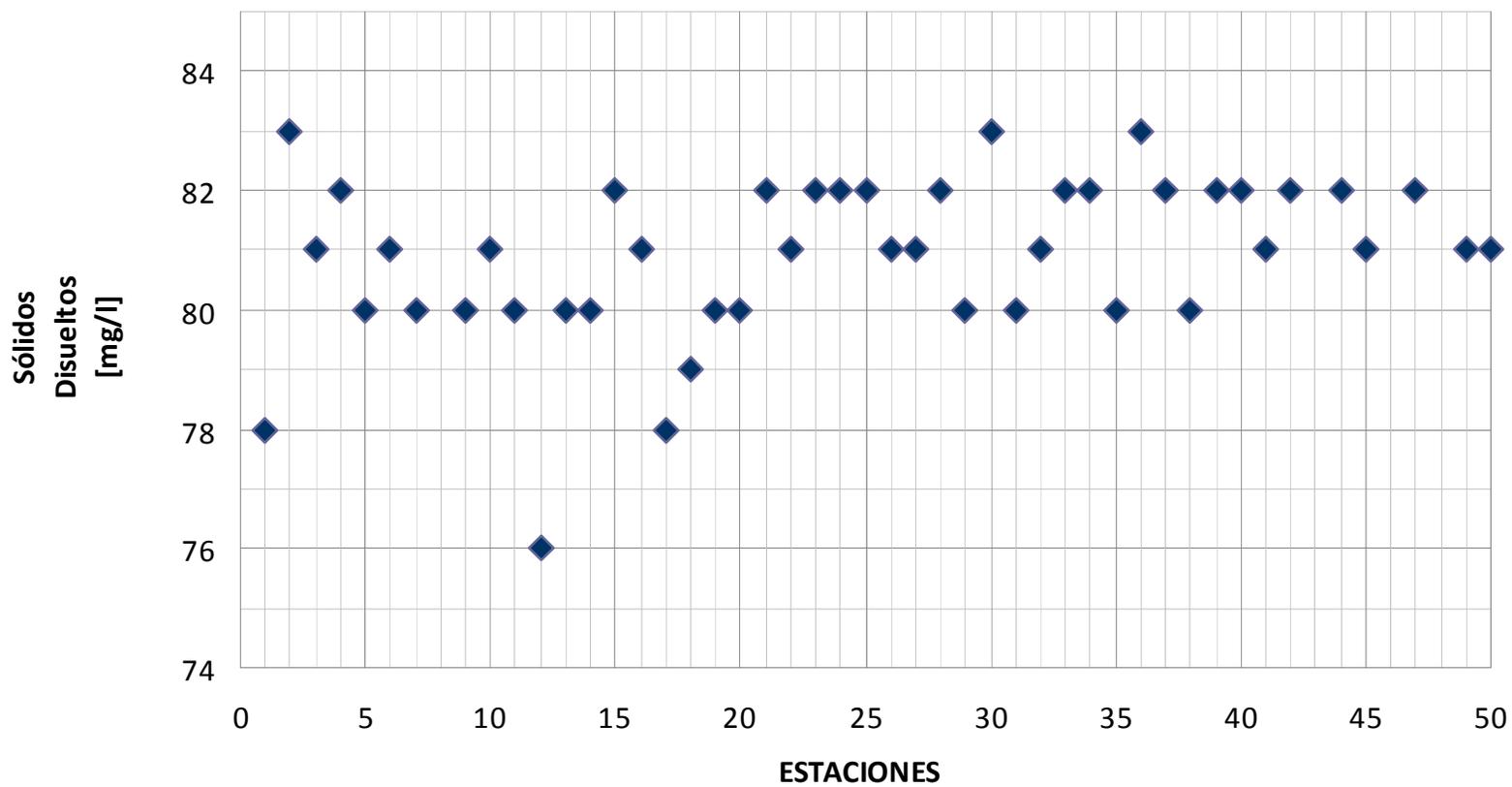
GRÁFICA 4.2 REPRESENTACIÓN PUNTUAL DE pH DEL AGUA EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



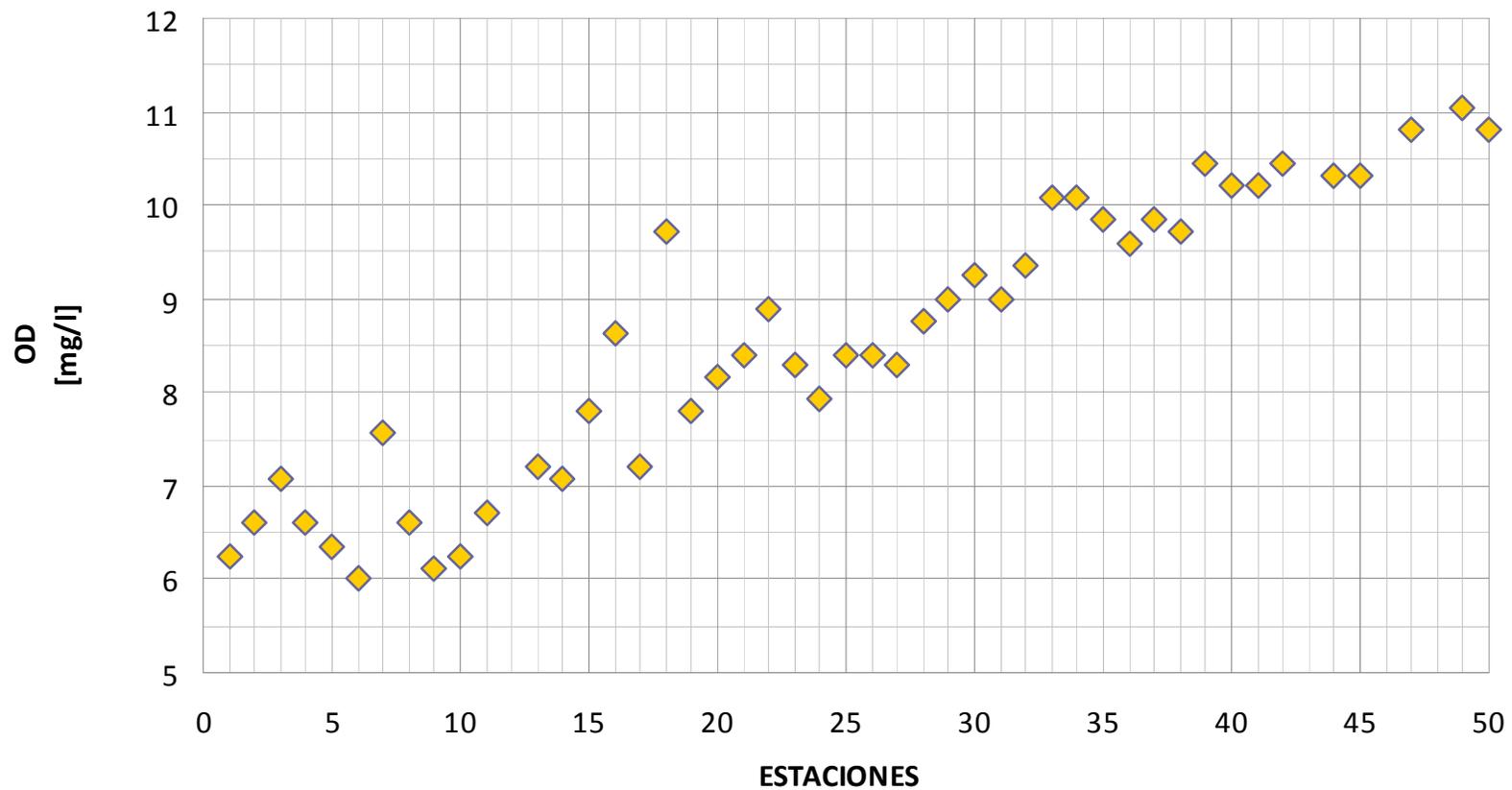
GRÁFICA 4.3 REPRESENTACIÓN PUNTUAL DE SST DEL AGUA EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



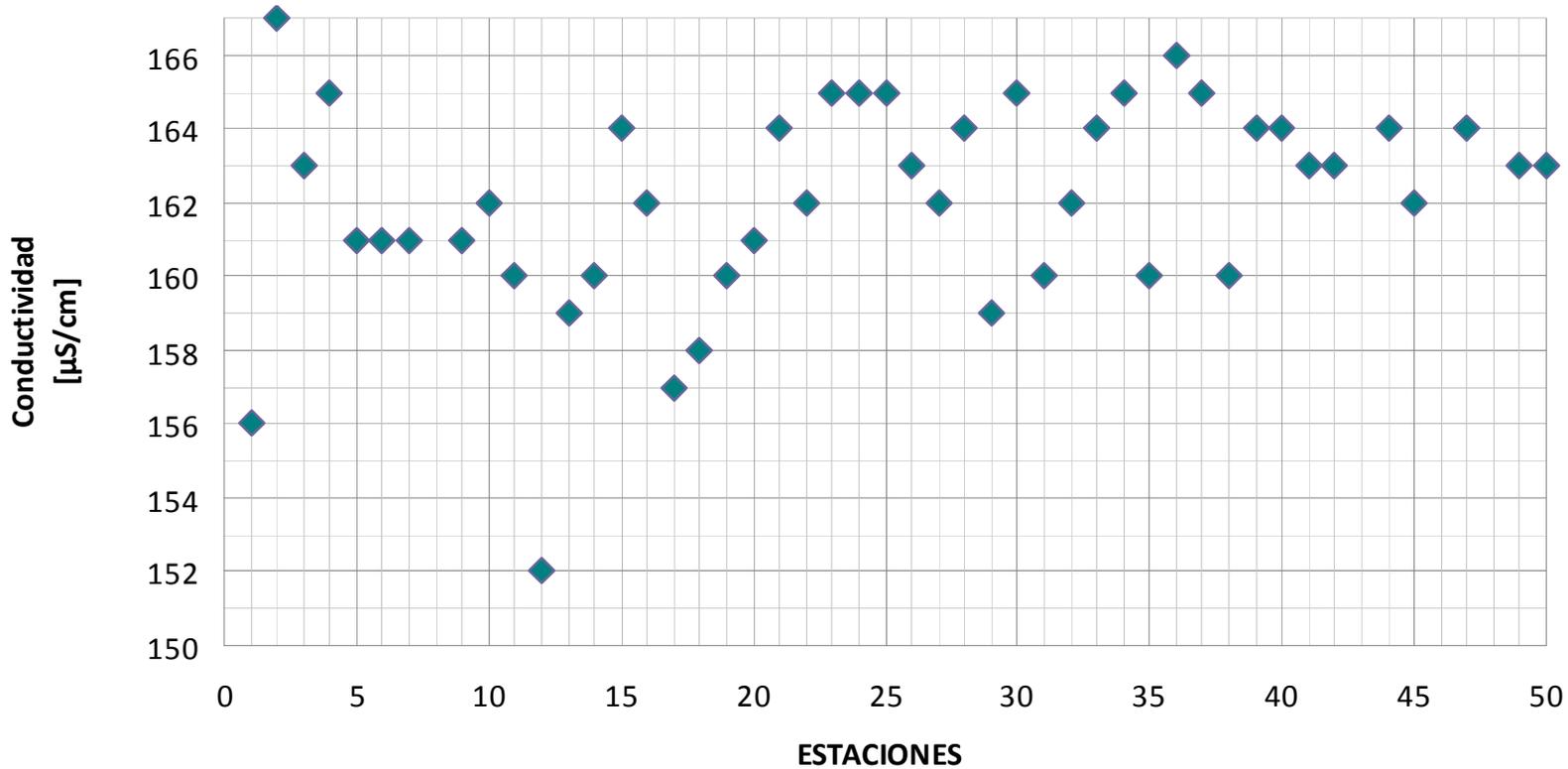
GRÁFICA 4.4 REPRESENTACIÓN PUNTUAL DE SDT DEL AGUA EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



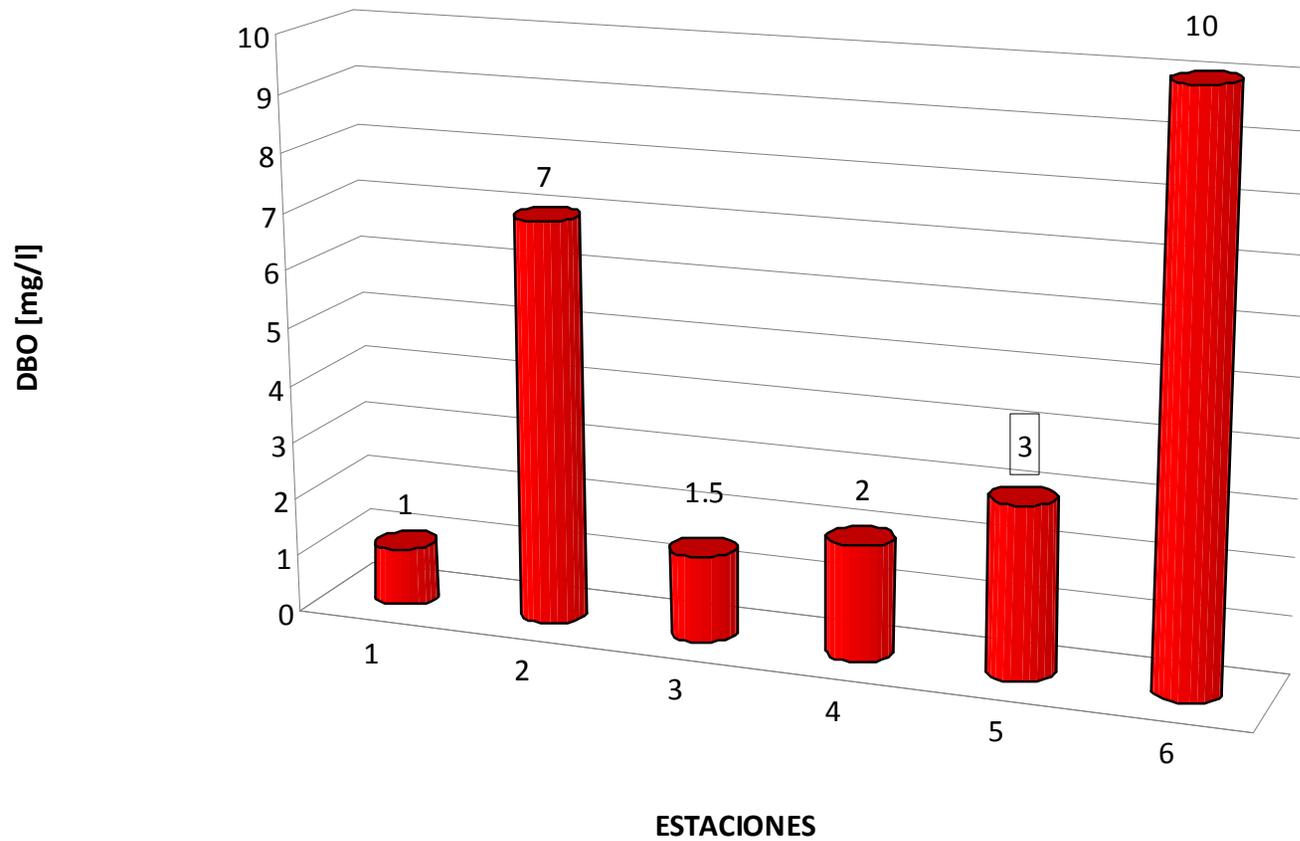
GRÁFICA 4.5 REPRESENTACIÓN PUNTUAL DE OXIGENO DISUELTO DEL AGUA EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



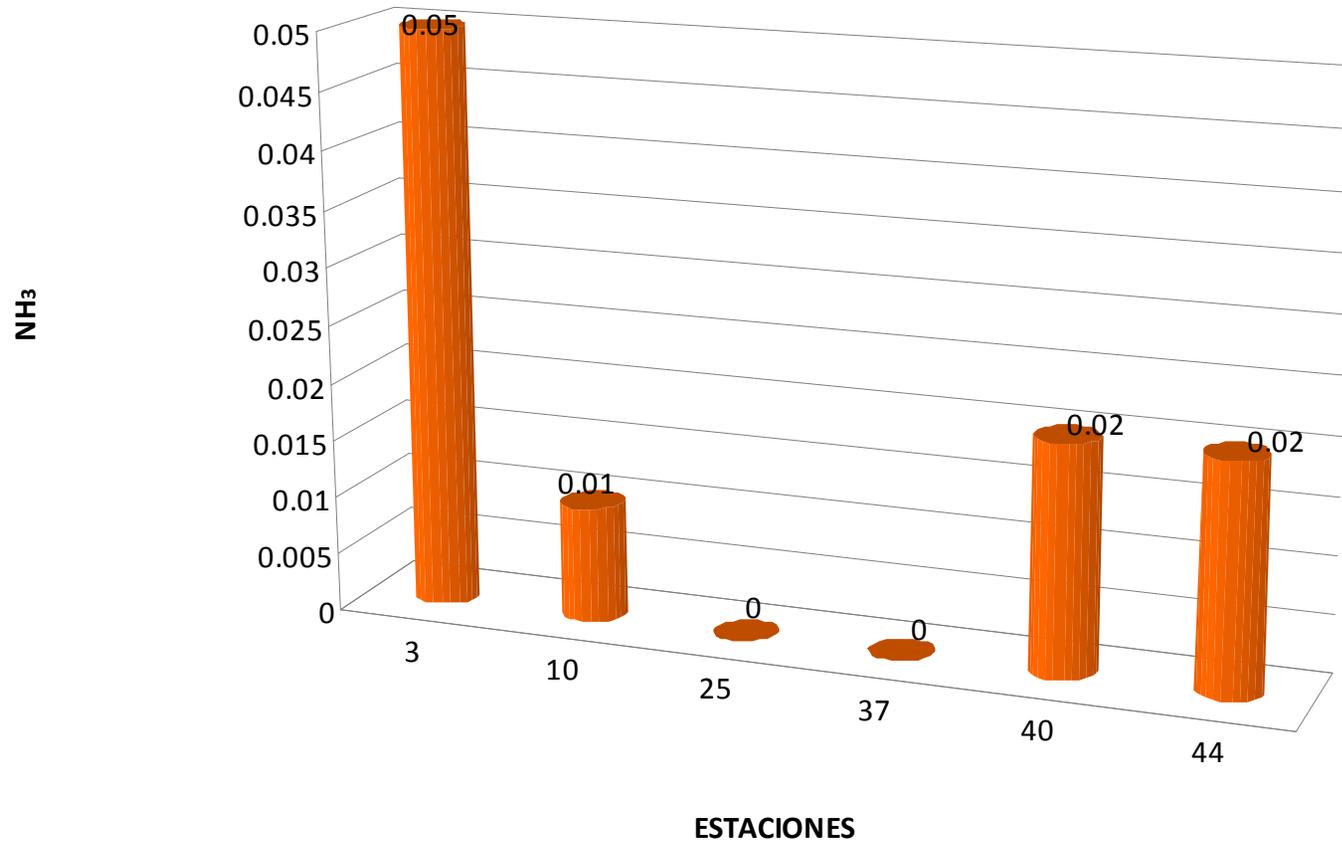
GRÁFICA 4.6 REPRESENTACIÓN PUNTUAL DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



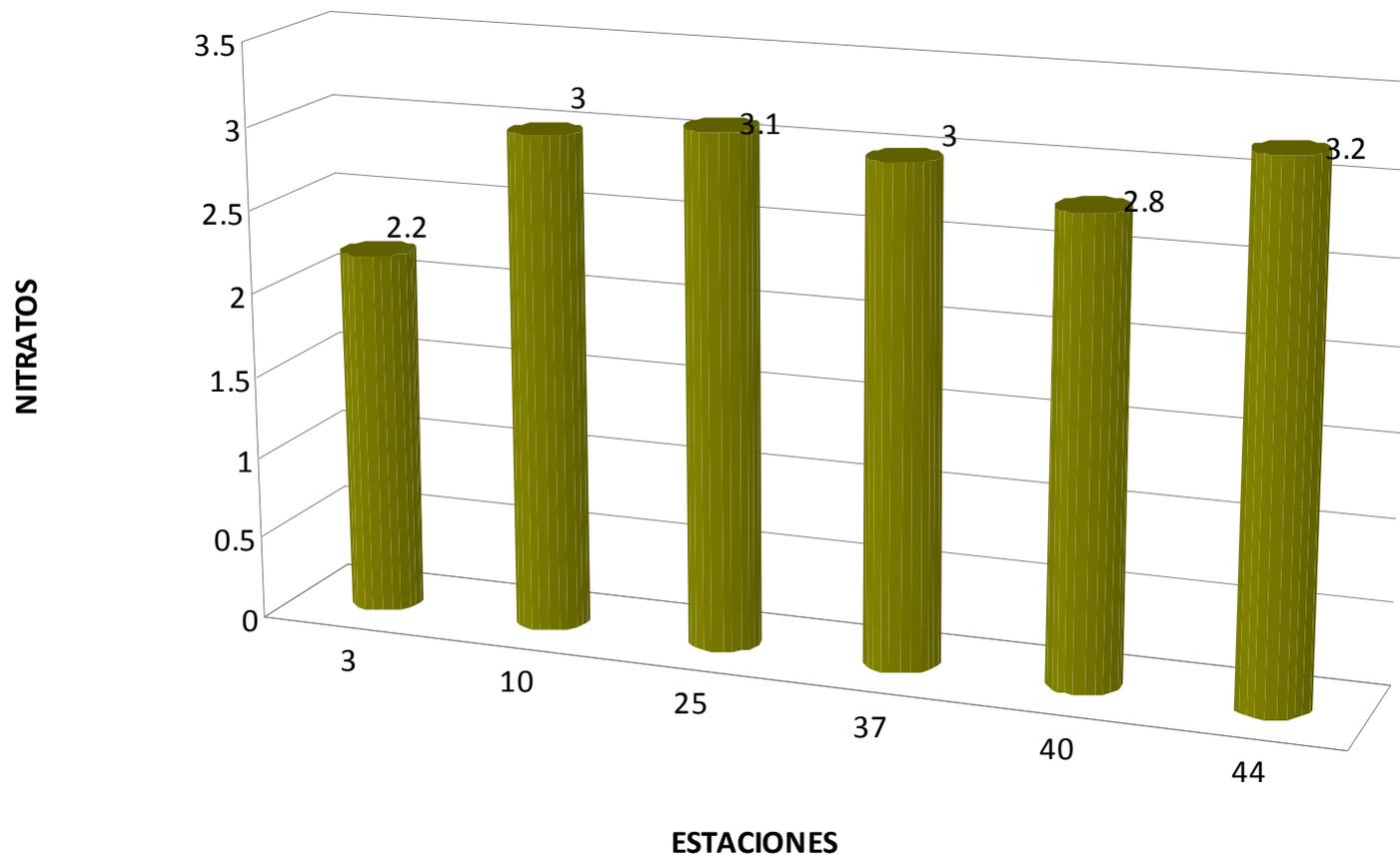
GRÁFICA 4.7 RESULTADOS DE DEMANDA BIOQUÍMICA EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



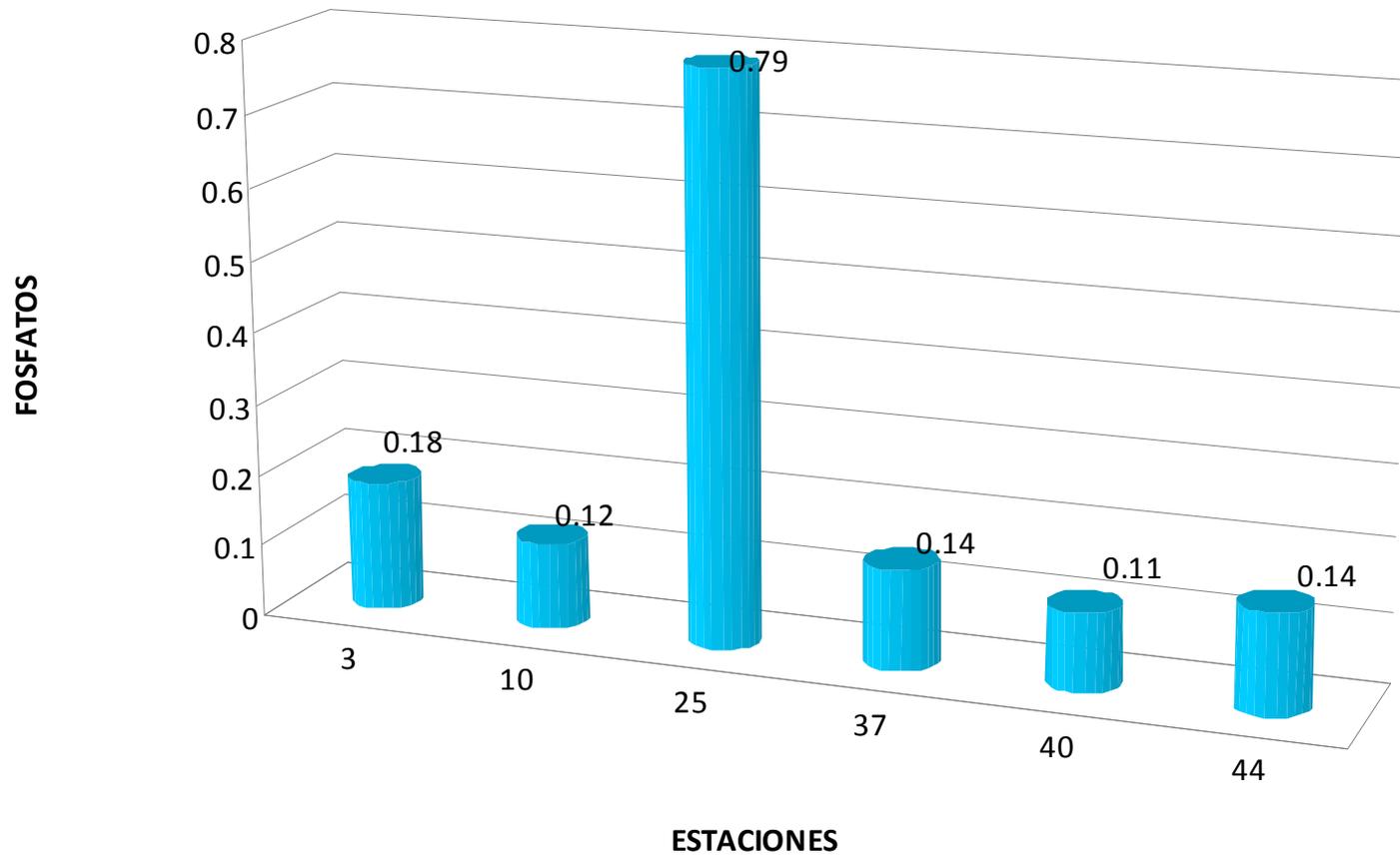
GRÁFICA 4.8 RESULTADOS DE NITROGENO AMONIACAL EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



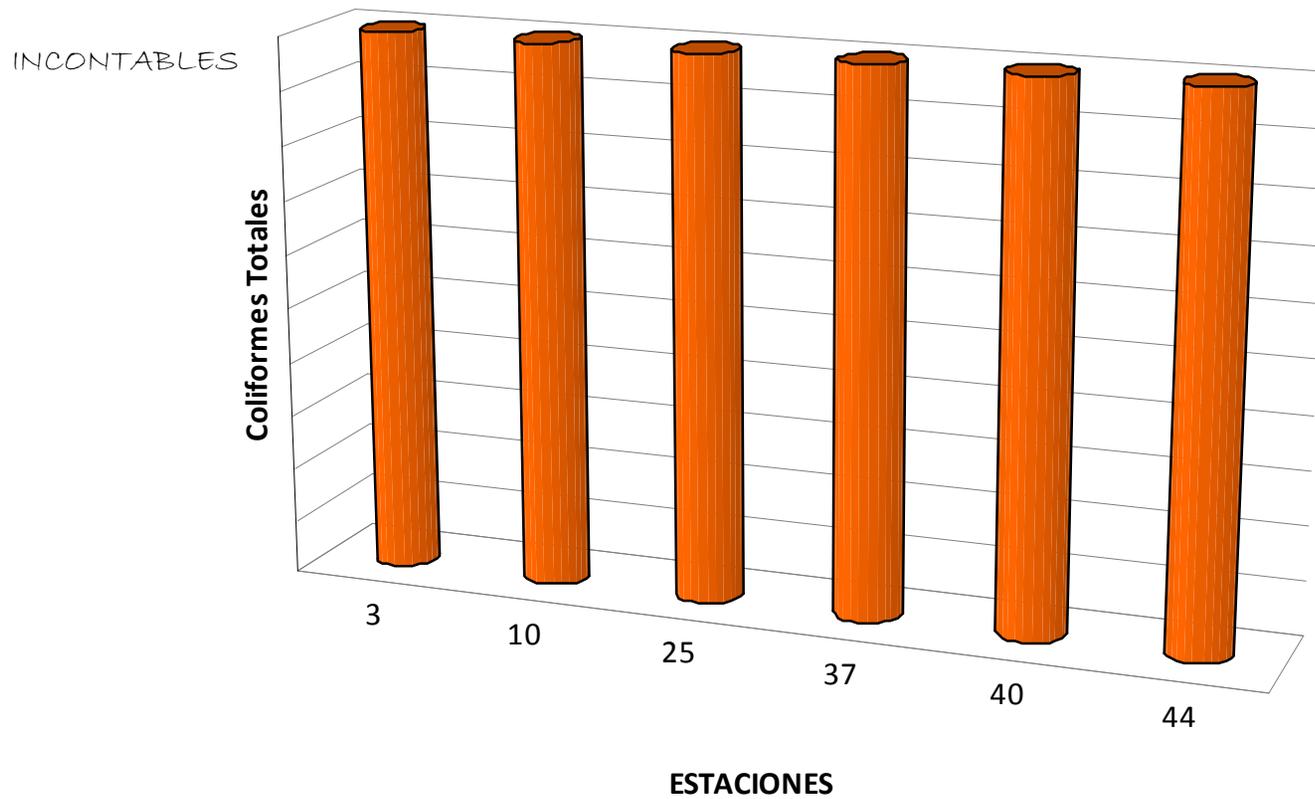
GRÁFICA 4.9 RESULTADOS DE NITRATOS EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



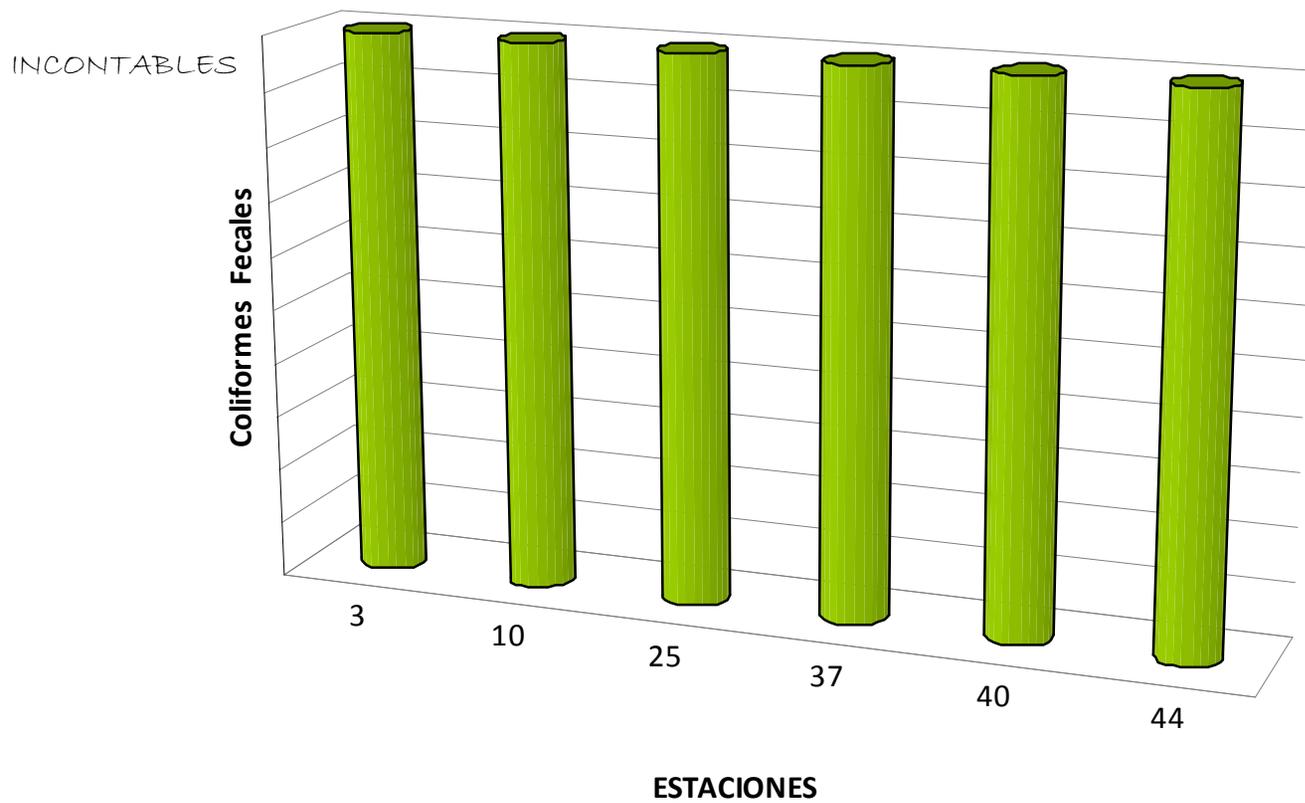
GRÁFICA 4.10 RESULTADOS DE FOSFATOS EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



GRÁFICA 4.11 RESULTADOS DE COLIFORMES TOTALES EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



GRÁFICA 4.12 RESULTADOS DE COLIFORMES FECALES EN LAS ESTACIONES DEL EMBALSE DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO (OCTUBRE 2010)



4.5. Discusión de resultados

De acuerdo a los límites máximos permisibles de características bacteriológicas establecidos en la norma NOM-127-SSA1-1994, la calidad del agua del embalse de la presa Valle de Bravo es no aceptable, ya que los límites permisibles son ausencia o no detectables para ambos casos (organismos coliformes totales y para coliformes fecales)

Por otra parte analizando los parámetros que fueron determinados *in situ* (temperatura, ph, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos disueltos y turbiedad) presentan una tendencia uniforme sin variaciones significativas, obteniendo como promedios lo siguiente, temperatura: 22.29° c, para el pH se reporta 9.11 promedio que de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 rebasa el límite máximo permisible, considerándose un agua básica lo cual hace una agua indeseable.

El oxígeno disuelto en el embalse de la presa es satisfactorio para mantener formas superiores de vida biológica.

Con respecto a los sólidos suspendidos totales están dentro de los límites permisibles según los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, la cual indica como límite permisible 500 mg/l cuando se trata de una fuente de abastecimiento de agua potable, como es el caso de Presa Valle de Bravo.

En lo que se refiere a los sólidos disueltos totales es muy uniforme en los sitios muestreados (los valores oscilan entre 76 – 83 mg/l) los cuales de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 están dentro de los límites permisibles.

Para las estaciones 3, 6, 25, 31, 42 y 46 las concentraciones de nitratos son bajas, lo cual que descarta a este constituyente como tóxico, la concentración de fosfatos encontrada indica la aportación de descargas directas de aguas negras y/o el escurrimiento agrícola que pudiera existir en las cercanías de la presa, finalmente la cantidad de nitrógeno amoniacal es insignificante con respecto a la NOM-127-SSA1-1994, que establece como límite permisible 0.50 mg/l.

Sin embargo tomando de manera integral los resultados de los parámetros analizados sería deseable limitar ciertas actividades que se llevan a cabo en la presa para prevenir el contacto directo con el agua, como son: el paracaidismo, esquí y la pesca. Considerando que se trata de una fuente de abastecimiento público urbano y con el fin de proteger su calidad sería conveniente restringir también las actividades náuticas motorizadas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La recopilación de información de esta investigación nos muestra que los lagos y embalses se han utilizado con éxito en el almacenamiento y gestión para sostener la civilización durante siglos. Como parte de esta investigación realizado en Presa Valle de Bravo se puede clasificar el agua como un poco contaminada de acuerdo a los parámetros analizados.

Las principales fuentes de contaminación de la Presa Valle de Bravo que alteran la calidad del agua son:

1. Descargas de aguas de desecho de origen domestico (presencia de organismos fecales en todos los muestreos)
2. Erosión de suelo y
3. Arrastre de fertilizantes y pesticidas utilizados en la agricultura, por acción del agua.

La calidad del agua del embalse de la presa de Valle de Bravo rebasa los límites máximos permisibles de coliformes totales y fecales establecidos en la norma NOM-127-SSA1-1994 lo cual hace al agua no adecuada para consumo humano, requiriendo tratamiento de desinfección.

Con base en la comparación de la calidad del agua con los límites máximos permisibles establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, puede concluirse que el agua no tiene las características adecuadas para uso recreativo con contacto primario.

Es necesario tomar medidas de control en las descargas del embalse a través del tratamiento de las aguas residuales y considerar medidas que restrinjan las actividades recreativas en el embalse.

5.2. Recomendaciones

Para buscar soluciones a los problemas de contaminación de las aguas superficiales, el primer paso es conocer las características o la situación de los cuerpos de agua, siendo necesario para ello, recolectar información de su calidad y cantidad, en una forma confiable, periódica y sistemática, de tal manera que pueda evaluarse la calidad de las aguas a través de la aplicación de diferentes herramientas.

La recopilación de esta información debe ampliarse respecto a las épocas y estudios previos realizados para comparar datos y así determinar el grado de avance de la contaminación. Principalmente se debe compartir la información obtenida y ser accesible a cualquier persona y/o institución.

Otro aspecto importante es fortalecer el ámbito educacional, participativo e informativo, lo cual conducirá al compromiso efectivo de la comunidad. Esto va ligado a la concientización de la población haciendo énfasis en el área económica y el efecto directo de la contaminación sobre la población y/o el nivel de vida.

CAPÍTULO 1

Apartado 1.1

- Lakes and Reservoirs: Similarities, Differences and Importance, IETC Short Rep 1
AUTOR: UNEP
Nº DE STOCK: 2892
ISBN No: 4906356273
AÑO DE PUBLICACIÓN: 2000
Nº DE PÁG. 63
DISPONIBLE EN LÍNEA
http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Short_Series/LakeReservoirs-1/index.asp
- Lakes and Reservoirs: The Watershed: Water from the Mountains into the Sea
AUTOR: UNEP
ISBN No: 4906356273
AÑO DE PUBLICACIÓN: 2001
DISPONIBLE EN LÍNEA
http://www.unep.or.jp/ietc/publications/short_series/lakereservoirs-2/index.asp
- Lagos y presas de México,
AUTOR: Guadalupe de la Lanza Espino, José Luis García Calderón,
AÑO DE PUBLICACIÓN: c2002,
Nº DE PÁG. 608
México, D.F. AGT Editor,
- Atlas del Agua en México
AUTOR: Comisión Nacional del Agua
AÑO DE PUBLICACIÓN: 2009
DISPONIBLE EN LÍNEA
<http://cenca.imta.mx/pdf/SGP-25B-Atlas.pdf>

Apartado 1.2

- Restoring and Protecting the World`s Lakes and Reservoirs
AUTOR: Ariel Dinar, Peter Seidl, Harvey Olem, Vanja Jorden, Alfred Duda, and Robert Johnson
WORLD BANK – TECHNICAL PAPERS
Nº DE STOCK : 289
ISBN No: 0-8213-3321-6
AÑO DE PUBLICACIÓN: 1995
DISPONIBLE EN LÍNEA
http://www.wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/1995/07/01/000009265_3961219120345/Rendered/PDF/multi_page.pdf

- Dams and the World's Water
AUTOR: ICOLD
ISSN N°0534-8293
AÑO DE PUBLICACIÓN: 2007
DISPONIBLE EN LÍNEA
http://www.icold-cigb.net/images/PDF_EN/Dams%20%20the%20World%20Water.pdf
- Benefits and Concerns About Dams
AUTOR: ICOLD
AÑO DE PUBLICACIÓN: 1999
DISPONIBLE EN LÍNEA
http://www.swissdams.ch/Committee/Dossiers/BandC/Benefits_of_and_Concerns_about_Dams.pdf

Apartado 1.3

- Planning and Management of Lakes and Reservoirs: An Integrated Approach to Eutrophication
AUTOR: UNEP
Nº DE STOCK:
ISBN No: 92-807-1810-X
AÑO DE PUBLICACIÓN: 2000
Nº DE PÁG. 68
DISPONIBLE EN LÍNEA
<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/techpublications/TechPub-11/index.asp#1>
- Reservoir Water Quality Management, Vol.9
AUTOR: M. Straskraba & J. G. Tundisi
ISBN No: 4-906356-26-5
AÑO DE PUBLICACIÓN: 1999
Nº DE PÁG. 236
DISPONIBLE EN LÍNEA
http://www.ilec.or.jp/eg/pubs/guideline/Vol.9_Reservoir_water_Quality_Management.pdf

CAPÍTULO 2

Apartado 2.1

- Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs.
Office of Water. Office of Science and Technology. Washington, DC 20460.
AUTOR: United States Environmental Protection Agency – US EPA. (2000b).
REFERENCE: EPA-822-B-00-001
DISPONIBLE EN LÍNEA
<http://www.epa.gov/waterscience/criteria/nutrient/guidance/lakes/lakes.pdf>
- Vol.3 Water Quality: The Impact of Eutrophication
AUTOR: UNEP
ISBN No: 4-906356-31-1
AÑO DE PUBLICACIÓN: 2001
Nº DE PÁG. 63
DISPONIBLE EN LÍNEA
http://www.unep.or.jp/ietc/publications/short_series/lakereservoirs-3/index.asp

- FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA. **EUTROFICACIÓN**. <EN WORLD WIDE WEB: <http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/documentos/Eutrofizacion.pdf>> [18 DE NOVIEMBRE DE 2010]
- FACULTAD DE CIENCIAS-UNIVERSIDAD DE URUGUAY-**ESTADO TROFICO Y ESTADOS ALTERNATIVOS**. <EN WORLD WIDE WEB: http://hydrobio.fcien.edu.uy/EFE_archivos/CLASE8.pdf> [18 DE NOVIEMBRE DE 2010]

Apartado 2.2

- UNIVERSIDAD SIMON BOLÍVAR, COLOMBIA - **EL FENÓMENO DE FLORECIMIENTO DE ALGAS**. <EN WORLD WIDE WEB: <http://www.unisimonbolivar.edu.co/rdigital/investigacion/index.php/investigacion/article/viewFile/119/116>> [27 DE NOVIEMBRE DE 2010]
- LIMNOLOGÍA, FACULTAD DE CIENCIAS, URUGUAY- **FLORACIONES ALGALES DE AGUA DULCE: CIANOBACTERIAS, CIANOTOXINAS**. <EN WORLD WIDE WEB: http://limno.fcien.edu.uy/pdf/de_Leon_Floraciones_CIAT.pdf> [27 DE NOVIEMBRE DE 2010]
- REVISTA DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERIA A.C. NUEVA ERA. AÑO 2008, DISPONIBLE EN LÍNEA
http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2008_1/Revista_2088_1.pdf [27 DE NOVIEMBRE DE 2010]
- **Harmful Algal Blooms in Coastal Upwelling Systems**.
AUTOR: Kudela R, Pitcher G, Probyn T, Figueiras F, Moita T, Trainer V:
Nº DE PÁG. 18(2):184-197.
AÑO DE PUBLICACIÓN: 2005
Oceanography

Apartado 2.3

- Planning and Management of Lakes and Reservoirs: An Integrated Approach to Eutrophication
AUTOR: UNEP
ISBN No: 92-807-1810-X
AÑO DE PUBLICACIÓN: 2000
Nº DE PÁG. 68
DISPONIBLE EN LÍNEA
<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/techpublications/TechPub-11/index.asp#1>
- FACULTAD DE CIENCIAS-UNIVERSIDAD DE URUGUAY-**EUTROFIZACIÓN**. <EN WORLD WIDE WEB: http://hydrobio.fcien.edu.uy/EFE_archivos/CLASE8.pdf> [6 DE DICIEMBRE DE 2010]
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA-FCEfYn-**HIDRÁULICA DEL TRANSPORTE DEL SEDIMENTOS**. <EN WORLD WIDE WEB: <http://www.lh-efn.com.ar/PNG/sedimentos.pdf>> [6 DE DICIEMBRE DE 2010]

- WATER ON THE WEB, 16 DE ABRIL DE 2008
<<http://www.waterontheweb.org/under/waterquality/sediment.html>>

CAPÍTULO 3

Apartado 3.1

- EVALUACIÓN DE LA AFECTACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS POR EFECTO DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU IMPACTO EN LA BIODIVERSIDAD, AGRICULTURA, SALUD, TURISMO E INDUSTRIA
AÑO DE PUBLICACIÓN: OCTUBRE 2008
Nº DE PÁG. 103
DISPONIBLE EN LÍNEA
http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/ev_calidad_agua_cc.pdf
- SEMARNAT-**INFORME DE LA SITUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN MÉXICO**. <EN WORLD WIDE WEB:
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/04_Agua/4.6_Calidad/index.shtml> [26 DE ENERO DE 2011]
- GONZÁLEZ MORA IGNACIO D., BARRIOS ORDOÑEZ J. EUGENIO, **“DIAGNÓSTICO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN MÉXICO EN 1996”**, RED NACIONAL DE MONITOREO, MÉXICO D.F. SEMARNAT.
DISPONIBLE EN LÍNEA
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/cd-cagua/ref/text/14.pdf>
- CONAGUA **“TEMA 10, MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA”**, OCTUBRE DE 2006
DISPONIBLE EN LÍNEA
ftp://ftp.consejosdecuenca.org.mx/pub/downloads/CNA/Dir_Gral/Tema_10.pdf
- Atlas del Agua en México
AUTOR: Comisión Nacional del Agua
AÑO DE PUBLICACIÓN: 2009
DISPONIBLE EN LÍNEA
<http://www.conagua.gob.mx/atlas/>

Apartado 3.2

- SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DE BOLIVIA, COLOMBIA, ECUADOR, PERÚ Y VENEZUELA- **METODOLOGÍA DE CALIDAD DEL AGUA 2004**. <EN WORLD WIDE WEB:
<http://secgen.comunidadandina.org/sima/public.asp>> [26 DE ENERO DE 2011]
- UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA- **ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA VICTORIA, GUANACASTE, COSTA RICA (2007-2008)**. <EN WORLD WIDE WEB:
<http://www.uned.ac.cr/investigacio/publicaciones/cuaderno1/documents/CuartoZhen-Indices.pdf>
> [26 DE ENERO DE 2011]
- ALIHUEN <EN WORLD WIDE WEB: <http://www.alihuen.org.ar/efemerides/22-de-marzo-dia-mundial-del-agua.html>> [26 DE ENERO DE 2011]

- NACIONES UNIDAS CENTRO DE INFORMACIÓN MÉXICO, CUBA Y REPUBLICA DOMINICANA – **CUMBRE MUNDIAL SOBRE EL DESARROLLO SOSTENIBLE** <EN WORLD WIDE WEB: [http://www.cinu.org.mx/eventos/conferencias/johannesburgo/documentos/Agenda21/Programac ap18.htm](http://www.cinu.org.mx/eventos/conferencias/johannesburgo/documentos/Agenda21/Programac%20ap18.htm) > [26 DE ENERO DE 2011]

CAPÍTULO 4

Apartado 4.1

- COMISIÓN DE CUENCA VALLE DE BRAVO-AMANALCO, ENERO DE 2010
<<http://www.cuencaamanalcovalle.org/sec08.php>>
- CONSEJO CIVIL MEXICANO PARA LA SILVICULTURA SOSTENIBLE
<<http://www.ccmss.org.mx/amanalco/proyecto.php?men0=proy&men=pro&men1=cap>>