

CAPÍTULO III

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO



3.1 Estudios realizados

Para los estudios de calidad del agua y balance hidráulico, existen diversas fuentes que han aportado una gran cantidad de estudios para esta región, debido a la gran importancia que tiene para el abastecimiento de agua potable a la zona más poblada del país, es decir la Ciudad de México y su zona metropolitana, y también por la importancia que propiamente tiene la zona como región turística y polo de desarrollo social.

La información presentada en este documento proviene de fuentes como:

- ✚ El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el cual cuenta con los registros históricos de todas las estaciones climatológicas del país.
- ✚ El Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS), el cual cuenta con registros de los escurrimientos en las principales corrientes que desembocan en el vaso de la Cuenca de Valle de Bravo.
- ✚ La Comisión de las Cuencas de Agua para el Valle de México, la cual ha recopilado en forma importante y abundante información sobre el estado de esta presa, ha comentado las problemáticas de la zona y ha realizado propuestas para su mejora.
- ✚ La Comisión de la Cuenca de Valle de Bravo.
- ✚ El Instituto de Ecología de la UNAM
- ✚ La Universidad Autónoma del Estado de México en colaboración con el gobierno del Estado de México, para la creación del Plan de Desarrollo Regional,
- ✚ En general, estudios de otras instituciones y personas que han aportado información valiosa; entre ellos, los estudios realizados por Olivera y Chacón.

3.2 Conceptos Básicos

Tanto los análisis de calidad del agua históricos, así como los realizados para el presente proyecto, requieren la comprensión de conceptos asociados a la calidad del agua que se describen brevemente, con el fin de comprender tanto los estudios realizados, como los análisis y conclusiones a las que se llega.

Dentro de los conceptos considerados de mayor importancia se presentan los siguientes:

- ✚ El Oxígeno Disuelto (OD): Son las moléculas de oxígeno "O₂" que se encuentran en el cuerpo de agua, debido al efecto de transferencia de gases al agua.
- ✚ La cantidad de Oxígeno Disuelto dependerá de la constante de Henry, en la cual se involucran factores como el tipo de gas, la temperatura y el medio en el que se desarrolla el intercambio de gases (debido a la presión atmosférica, la aereación, la fotosíntesis y los procesos de descomposición existentes).
- ✚ Así mismo, el intercambio de gases ocurrirá hasta llegar a un equilibrio dinámico.
- ✚ Aereación: Es el proceso mediante el cual el oxígeno entra en el agua por contacto con la atmósfera (absorción).
- ✚ Descomposición: Es la oxidación de los desechos, de forma aerobia o anaerobia, mediante el cual, químicamente, las sustancias más complejas se desdoblan (transforman) en sustancias más simples.
- ✚ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos aerobios para descomponer la materia orgánica contenida en el agua (es una medida indirecta del contenido de materia orgánica).
- ✚ Demanda Bioquímica de Oxígeno (5) (DBO 5): Es la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable en un periodo de 5 días, a una temperatura de 20 °C.

- ✚ Temperatura: La mayoría de los procesos biológicos se aceleran cuando la temperatura se incrementa y se desaceleran cuando la temperatura disminuye. Debido a que la utilización del oxígeno es provocada por el metabolismo de los microorganismos, la tasa de utilización es afectada de igual forma por la temperatura.

- ✚ Microorganismos patógenos: Incluye a las bacterias, virus, protozoarios y helmintos presentes en el agua.
 - ✓ Bacterias: Son microorganismos unicelulares capaces de sintetizar el protoplasma a partir de su ambiente. Pueden tener forma cilíndrica o de bastón (bacilos), oval o esférica (cocos) o espirales (espirilos). Los desórdenes intestinales son síntomas comunes de la mayoría de las enfermedades transmitidas por las bacterias patógenas transportadas por el agua.
 - ✓ Virus: Son las estructuras biológicas inferiores de las cuales se conoce que contienen toda la información genética necesaria para su propia reproducción. Ellos, están obligados a tener un huésped en donde alojarse.
 - ✓ Protozoarios: Constituyen el nivel inferior de la vida animal, y son organismos unicelulares que pueden vivir libremente o en forma parásita. Pueden ser patógenos o no patógenos, microscópicos o macroscópicos. Son altamente adaptables, por lo cual están ampliamente distribuidos en las aguas naturales. Sólo unos cuantos protozoarios acuáticos son patógenos.
 - ✓ Helmintos (gusanos parásitos): incluye dos o más huéspedes, uno de los cuales puede ser humano. La contaminación del agua con este tipo de microorganismos puede ser causada por el vertido de desechos animales y humanos que contienen helmintos, así como insectos y caracoles.

En la Tabla 3.1, se muestran las enfermedades más comunes originadas por los diferentes tipos de microorganismos:

Microorganismos	Enfermedades que provocan
Bacterias	leptospirosis, paratifoidea (fiebre entérica), fiebre tifoidea, disentería bacilar, cólera
Virus	Poliomielitis infantil, Hepatitis Infecciosa
Protozoarios	Amebiasis (disentería amebiana, enteritis amebiana, colitis amebiana), Giardiasis
Helmintos	Dracontiasis, Equinococosis, Squistomiasis

Tabla 3.1 Enfermedades producidas por diversos microorganismos. Fuente: Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales, César y Vázquez. FI – FICA, 2009.

✚ Cianofitas (Algas verdes – azules): son organismo procariontes autótrofos, careciendo sus células de un núcleo verdadero. Están constituidas por elementos idénticos aislados unicelulares o en cenobios filamentosos.

Son muy fácilmente adaptables; viven en medios húmedos, como son la tierra, o en el agua, ya sea dulce o salada.

Las cianofitas tienen la característica de poder desarrollarse en condiciones eutróficas. Este tipo de organismos producen sustancias antibióticas, es decir son organismos alelopáticos, inhibiendo o deteniendo así el desarrollo de otros seres planctónicos.

Existen además florecimientos que producen toxinas, produciendo en los seres humanos malestares: calambres, náuseas, vómitos, contracturas musculares, cefaleas,



Figura 3.1 Las cianofitas son organismos fácilmente adaptables, y se reproducen asexualmente, facilitando esto su proceso de propagación.

Fuente: Ryczel, Argentina 2003.

vértigo, convulsiones, hepatomegalia, insuficiencia hepática progresiva, hiperbilirubinemia, entre otros.

- ✚ Eutroficación: Proceso mediante el cual un lago o un embalse se enriquecen con nutrientes. Un embalse puede llegar a su estado eutrófico naturalmente, aunque los factores antropogénicos: aportación de nutrientes debido a las descargas de aguas residuales, el uso de fertilizantes en la agricultura, los desechos ganaderos, las industrias alimenticias aceleran este proceso.

Los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y los nitratos. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce, pero en agua salada el factor limitante es el nitrógeno. En el siguiente esquema se ilustran los pasos del proceso de eutroficación en los lagos y embalses:

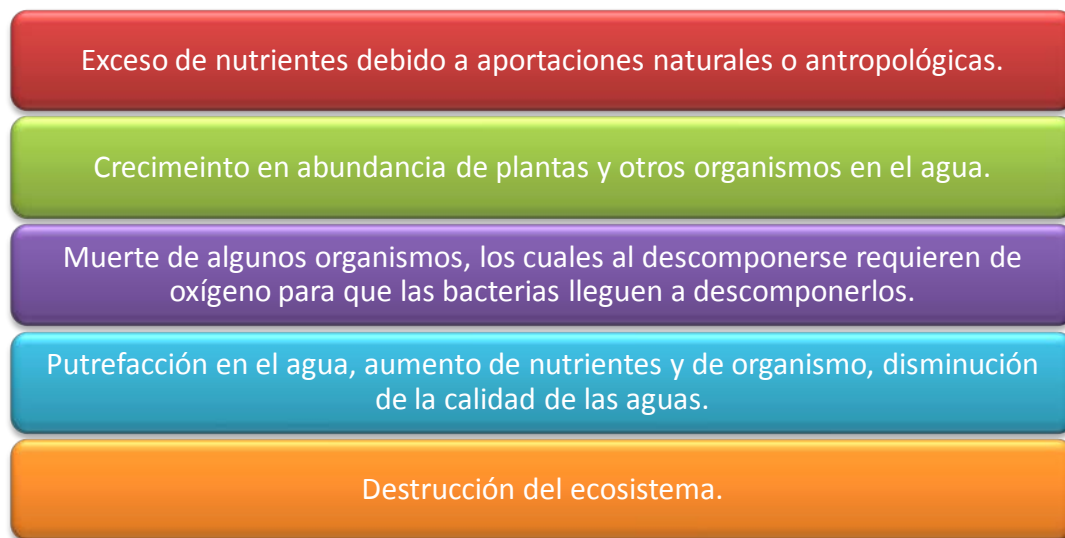


Figura 3.2 Descripción breve del proceso de eutroficación de los cuerpos de agua.

- ✚ Estado trófico oligotrófico: Se genera cuando un lago o embalse es pobre en nutrientes. Tiene las aguas claras, la luz penetra bien, el crecimiento de las algas es pequeño y mantiene a pocos animales. Las plantas y animales que se encuentran son los característicos de aguas bien oxigenadas.

- ✚ Estado trófico mesotrófico y eutrófico: Los cuerpos de agua al ir cargándose de nutrientes van cambiando su nivel trófico; a mayor cantidad de nutrientes se expresa que el cuerpo de agua aumenta su nivel eutrófico.

- ✚ Características de las aguas con nivel trófico eutrófico:
 - ✓ Crecen las algas en gran cantidad, con lo que el agua se enturbia.
 - ✓ Las algas y otros organismos, cuando mueren, son descompuestos por la actividad de las bacterias con lo que se gasta el oxígeno.
 - ✓ No pueden vivir peces que necesitan aguas ricas en oxígeno.
 - ✓ En algunos casos se producirán putrefacciones anaeróbicas acompañadas de malos olores.
 - ✓ Las aguas son turbias y de poca calidad desde el punto de vista del consumo humano o de su uso para actividades recreativas.
 - ✓ El fondo del lago se va rellenando de sedimentos con nutrientes.
 - ✓ En algunos casos llegan a existir azolves importantes.

3.3 Estudios Relacionados con el Balance Hidráulico

LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LA PRESA

La Presa Valle de Bravo abarca una superficie de 2,900 hectáreas, con una profundidad promedio 21 m y máxima de 39 m. La capacidad máxima de almacenamiento fue inicialmente de 457 hm³, reducida por azolves a 394 hm³. El volumen almacenado esta en relación con la precipitación y la extracción.

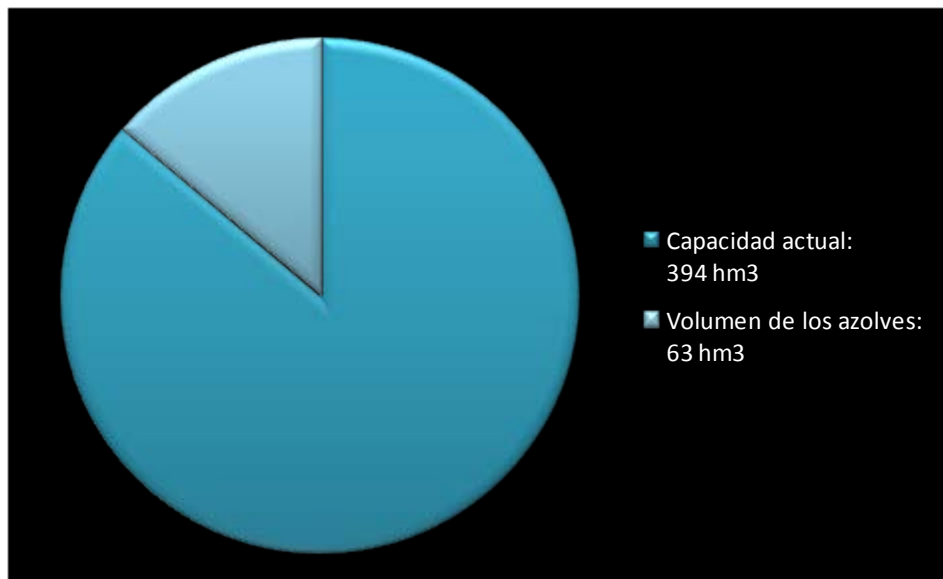


Figura 3.3 Relación de los azolves con respecto a la capacidad máxima que originalmente tuvo la presa de Valle de Bravo.

ALMACENAMIENTOS HISTÓRICOS DE LA PRESA DE VALLE DE BRAVO

La extracción promedio para el Sistema Cutzamala es de 6 m³/s, con máximos de 15 m³/s (Organismo de Cuencas del Agua para el Valle de México). Si bien el volumen de extracción de la presa es muy variable, en general, los máximos se registran desde abril y hasta septiembre, en coincidencia con la época de lluvia. En concordancia, los mayores niveles de almacenamiento inician en el mes de septiembre, como resultado de la acumulación de los escurrimientos de lluvia y la disminución de la extracción.

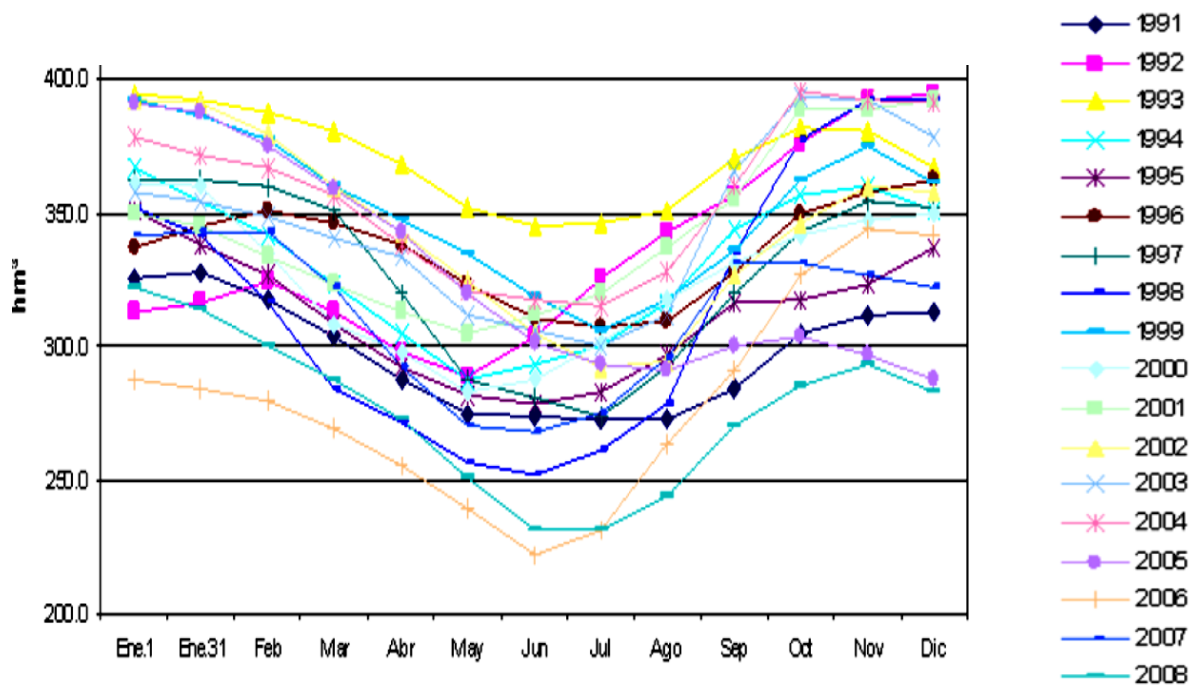


Figura 3.4 Almacenamientos históricos para la Presa de Valle de Bravo. Fuente: Comisión de la Cuenca de Agua para el Valle de México, CONAGUA.

**CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA
PRESA VALLE DE BRAVO**

COMPARATIVA DE PRECIPITACIONES CON SUS ALMACENAMIENTOS PARA EL PERIODO COMPRENDIDO DE DICIEMBRE DE 2009 A NOVIEMBRE DE 2010.

La información que se presenta a continuación fue tomada de la publicación: Almacenamiento de Presas del Sistema Cutzamala (CONAGUA); la información completa puede ser consultada en el Anexo 1.

Se utilizaron los milímetros promedio de precipitación en la cuenca. Se resumen los resultados en la Tabla 3.2 con su respectiva gráfica (Figura 3.5):

PERIODO	ALMACENAMIENTOS (Mm³)	PRECIPITACIONES (mm)
<i>diciembre / 2009</i>	291.5	4
<i>enero / 2010</i>	298.547	54.7
<i>febrero / 2010</i>	315.416	195.3
<i>marzo / 2010</i>	321.457	0
<i>abril / 2010</i>	328.959	3.5
<i>mayo / 2010</i>	320.955	5
<i>junio / 2010</i>	308.496	114.3
<i>julio / 2010</i>	317.203	350.4
<i>agosto / 2010</i>	348.607	352.1
<i>septiembre / 2010</i>	381.183	176
<i>octubre / 2010</i>	392.373	3.9
<i>noviembre / 2010</i>	386.962	15.3

Tabla 3.2: Comportamiento de la precipitación con respecto a los almacenamientos promedio para cada mes de diciembre de 2009 a noviembre de 2010.

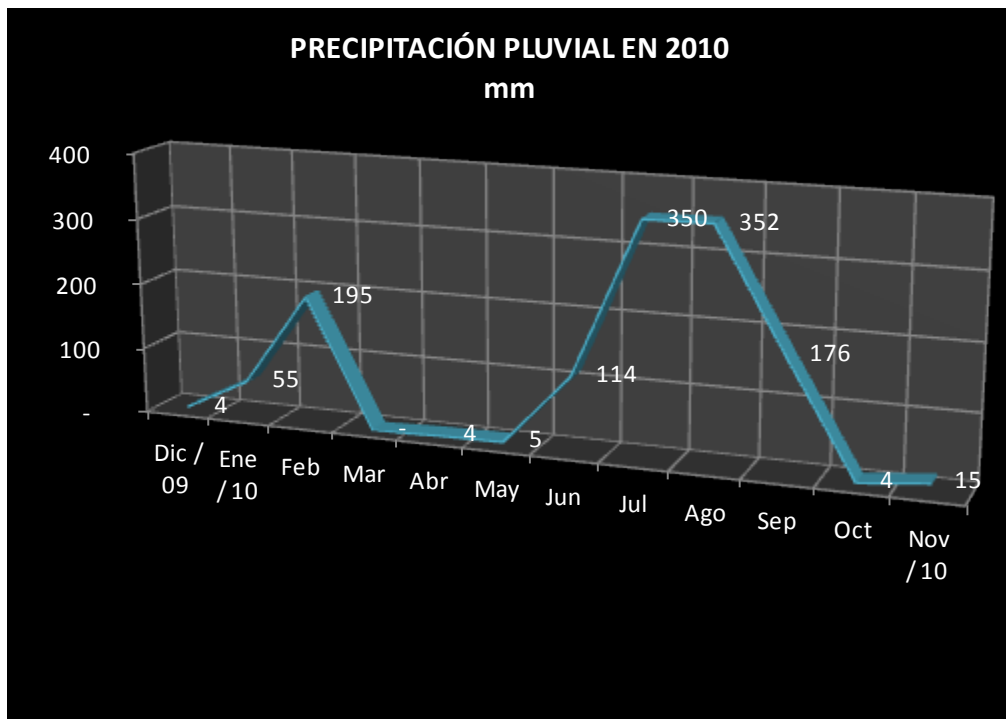
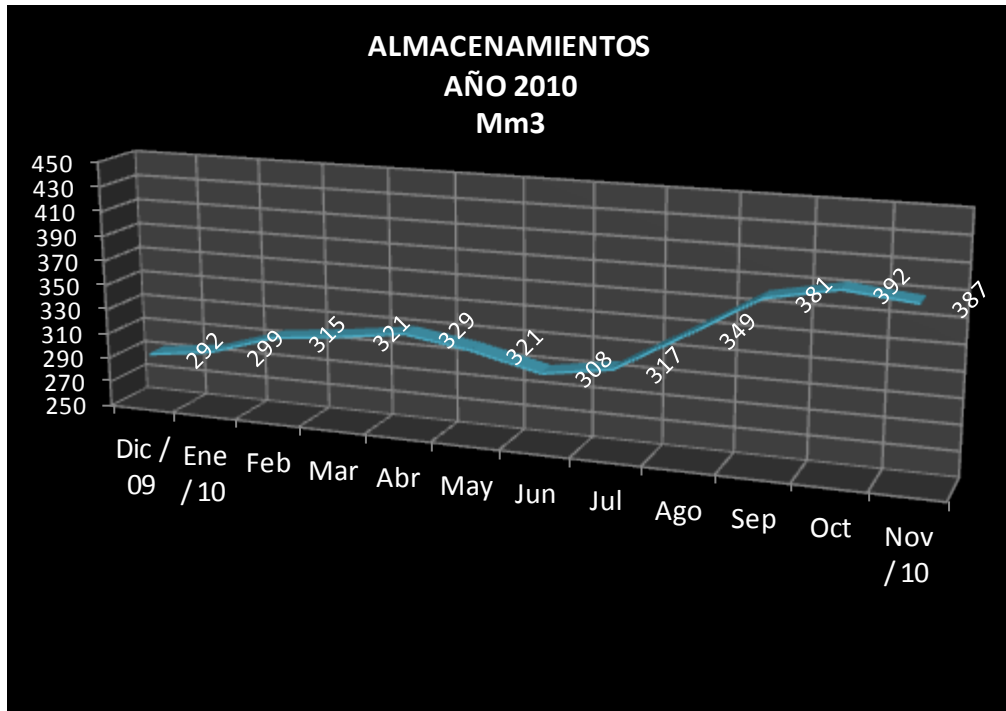


Figura 3.5 Almacenamiento en la Presa y Precipitación Pluvial en la Cuenca de Valle de Bravo. Fuente: Almacenamiento de Presas del Sistema Cutzamala, CONAGUA

*GASTOS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS REGISTRANDO EL MAYOR
CAUDAL AL VASO DE LA PRESA*

En esta sección, se muestra el comportamiento de los gastos de las dos principales subcuencas que existen en Valle de Bravo, las cuales drenan sus aguas a través del Río Amanalco y el Río Molino o Molino – Hoyos.

Las dos estaciones, al contar con un mayor caudal y una mayor extensión, son las que más interesan a nuestro estudio.

ESTACIÓN EL SALTO

La estación hidrométrica denominada “el Salto” registra el caudal del Río Amanalco, y su importancia radica en que es el que aporta el mayor caudal o el mayor volumen de agua al embalse de la presa Valle de Bravo.

La cuenca de captación del río Amanalco comprende el 37.75% de la Cuenca de Valle de Bravo. Esta subcuenca tiene como sus principales actividades la agricultura, ocupando para ello un amplio espacio, y además cuenta con un uso de suelo forestal de gran importancia.

En esta sección se presentan los gastos promedio de 25 años que se tienen para el río Amanalco, y se realiza una comparativa en cuanto al periodo de 2004 a 2005 (*Tabla 3.3 y Figura 3.6*):

CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO

MES	GASTOS (Q = m ³ /s)		
	Promedio de 25 años	Periodo 2004 - 2005	Diferencia
enero	3.719	2.929	-0.790
febrero	3.245	2.626	-0.619
marzo	2.590	2.336	-0.254
abril	2.457	2.386	-0.071
mayo	2.880	3.355	0.475
junio	3.699	2.485	-1.214
julio	4.437	3.769	-0.668
agosto	4.786	4.249	-0.537
septiembre	5.333	4.544	-0.789
octubre	5.074	4.492	-0.582
noviembre	4.624	3.574	-1.050
diciembre	3.936	2.845	-1.091
Promedio	3.898	3.299	-0.599

Tabla 3.3. Caudal del Río Amanalco. Adaptado por el autor, datos de CONAGUA.

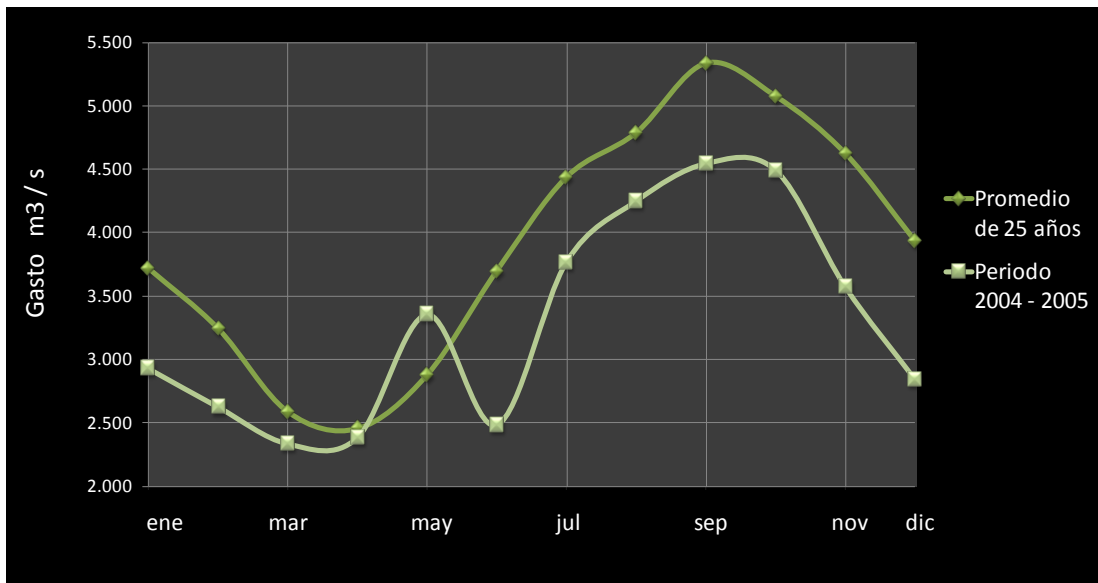


Figura 3.6 Caudal del Río Amanalco en la Estación el Sitio. Fuente: Almacenamiento de Presas del Sistema Cutzamala, CONAGUA

ESTACIÓN MOLINO

Esta estación se registra el escurrimiento de la subcuenca Molino - Hoyos, la cual representa el 24.61% de la Cuenca de Valle de Bravo. Esta subcuenca es la segunda en importancia de acuerdo a la superficie que ocupa.

De la información obtenida en el BANDAS, promediando al igual que en el caso del Río Amanalco un periodo de 25 años registrados, se tiene un escurrimiento medio diario de 2.35 m³/s. Para los datos medidos en 2004-2005 se tiene un escurrimiento medio diario de 2.91 m³/s. Al comparar estos periodos se observa que en la temporada seca la información registrada es mayor para el periodo 2004-2005 y estas diferencias van de 0.5 m³/s hasta 1.5 m³/s, en la temporada húmeda el registro es ligeramente mayor para el promedio de 28 años.

Como registro histórico se tiene que el menor escurrimiento registrado fue para el año 1982 con un gasto medio diario de 0.08 m³/s en el año de 1982, y el máximo fue para el año 1955, con un gasto medio diario de 4.48 m³/s.

En esta subcuenca, el uso que tiene el suelo es principalmente bosque, contando con un 65.62% del total de la extensión de esta subcuenca, seguido por los pastizales o praderas inducidas con 21.48%. La agricultura ocupa 12.9% de la extensión, aunque las zonas donde se realiza esta actividad no es la más apropiada para el manejo de la cuenca de Valle de Bravo, ya que se hace en zonas con pendientes fuertes, significando un aporte de sedimentos para el vaso de la presa, generando así problemas de azolves.

En esta sección se presentan los gastos promedio de 25 años que se tienen para el río Amanalco, y se realiza una comparativa en cuanto al periodo de 2004 a 2005 (*Tabla 3.4 y Figura 3.7*):

CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO

MES	GASTOS (Q = m ³ /s)		
	Promedio de 25 años	Periodo 2004 - 2005	Diferencia
enero	1.780	2.691	0.911
febrero	1.514	3.068	1.554
marzo	1.463	2.046	0.583
abril	1.164	2.682	1.518
mayo	1.339	2.622	1.283
junio	1.725	1.871	0.146
julio	2.581	2.491	-0.090
agosto	3.343	3.027	-0.316
septiembre	4.157	4.160	0.003
octubre	3.836	3.840	0.004
noviembre	2.951	2.950	-0.001
diciembre	2.308	2.911	0.603
Promedio	2.347	2.863	0.517

Tabla 3.4. Caudal del Río Molino – Hoyos. Fuente: Adaptado por el autor, datos de CONAGUA.

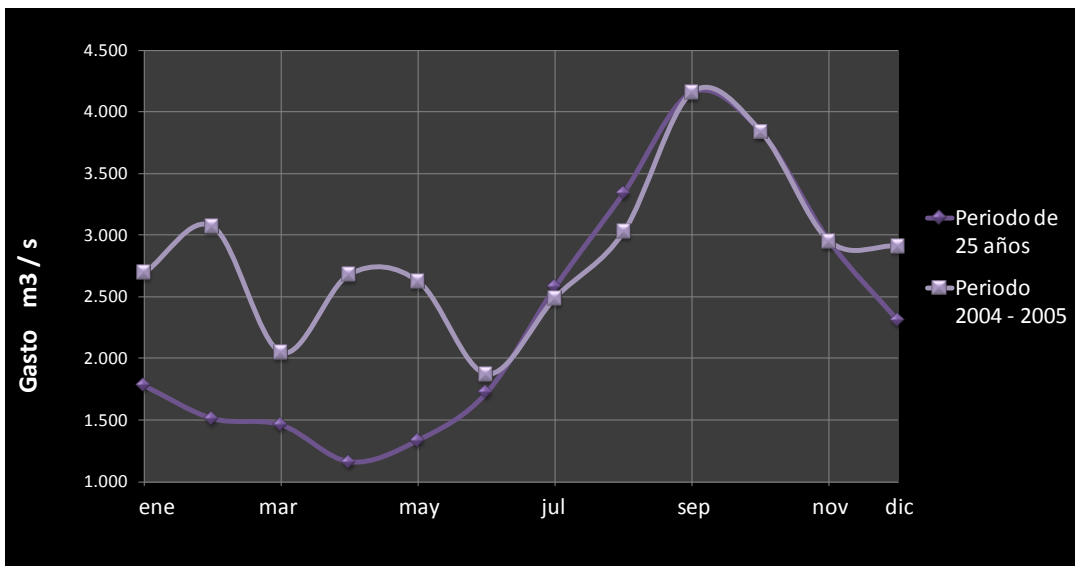


Figura 3.7 Caudal del Río Molino - Hoyos en la Estación Molino. Fuente: Almacenamiento de Presas del Sistema Cutzamala, CONAGUA

CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO

COMPARATIVA DE GASTOS EXTRAÍDOS AL SISTEMA CUTZAMALA, FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA Y APORTACIÓN DE LA CUENCA DE VALLE DE BRAVO

El sistema Cutzamala está integrado por siete presas, tres de ellas son de almacenamiento y cuatro tipo derivadoras, que almacenan agua del río Cutzamala. Así mismo, el sistema cuenta con seis macroplantas de bombeo que en conjunto vencen un desnivel de más de 1100 metros, un acueducto de 205.7 km con tubería de acero y concreto con diámetros que van desde 1.07 metros, alcanzando los 3.50 metros. El sistema está compuesto 43.99 km de túnel, 72.55 km de canal abierto, y la planta potabilizadora Los Berros que consta de 5 módulos de 4,000 l/s cada uno.

La Figura 3.8 presenta las características y las partes que componen al sistema Cutzamala.

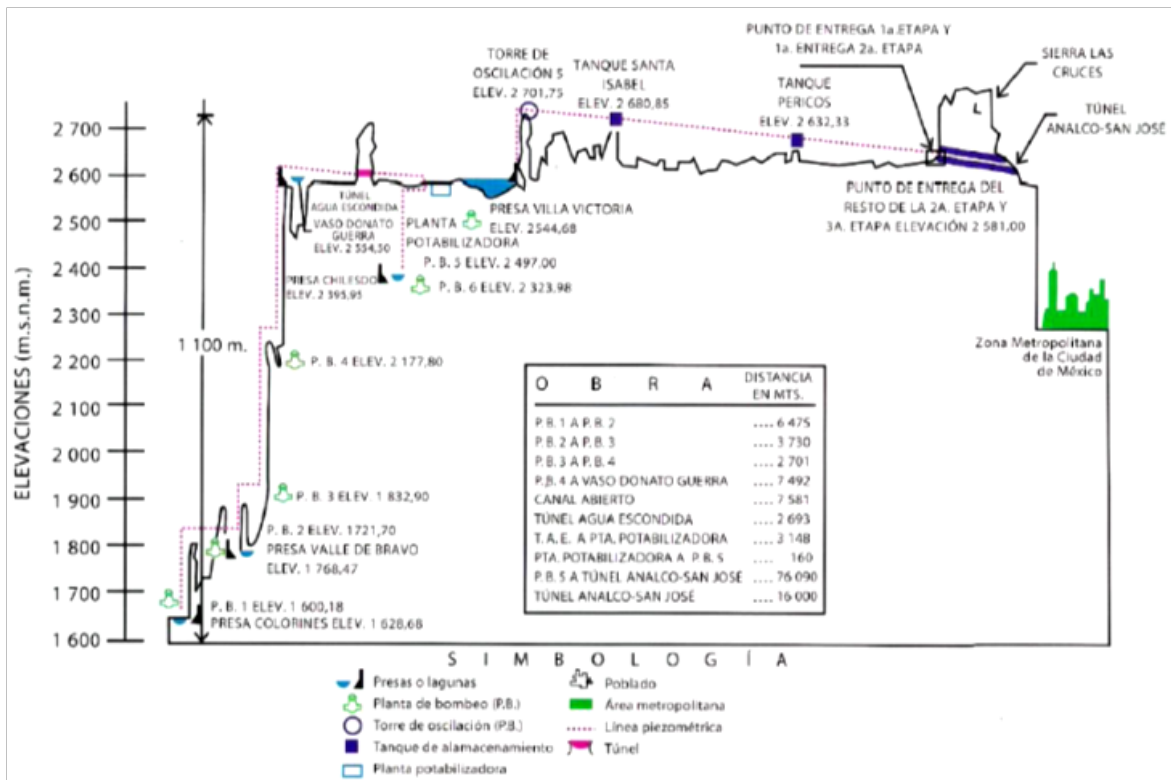


Figura 3.8: Esquema de los elementos que conforman al sistema Cutzamala, Fuente: CONAGUA 2007

CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO

En esta sección se muestran gráficamente los volúmenes que son entregados a través del Sistema Cutzamala para el Distrito Federal y la zona conurbada conformada por el Estado de México. Como anteriormente se había mencionado, el Sistema Cutzamala aporta de un 30 a un 40% de las necesidades de agua potable que se requieren en la ciudad de México, teniendo como principal fuente alimentadora a la Presa de Valle de Bravo, aportando regularmente un 45% del agua que se destina a dicho sistema. La Tabla 3.5 muestra los gastos que aporta el Sistema Cutzamala al D.F. y al Edomex.

SISTEMA	CUTZAMALA		
MES	GASTOS (Q = m³ /s)		
	<i>Distrito Federal</i>	<i>Edomex</i>	<i>Total</i>
1991	7.58	2.48	10.05
1992	7.13	2.84	9.98
1993	7.98	2.87	10.85
1994	9.65	3.37	13.02
1995	9.80	3.85	13.65
1996	9.69	4.62	14.31
1997	10.17	5.05	15.22
1998	9.93	4.49	14.42
1999	10.12	5.05	15.18
2000	9.73	5.60	15.32
2001	9.61	5.50	15.11
2002	9.63	5.58	15.21
2003	9.85	5.87	15.72
2004	9.85	5.63	15.49
2005	9.84	5.80	15.64
2006	9.62	5.62	15.25
Promedio	9.387	4.639	14.025

Tabla 3.5: Gastos que aporta el sistema Cutzamala (gastos totales) al Distrito Federal y al Estado de México.

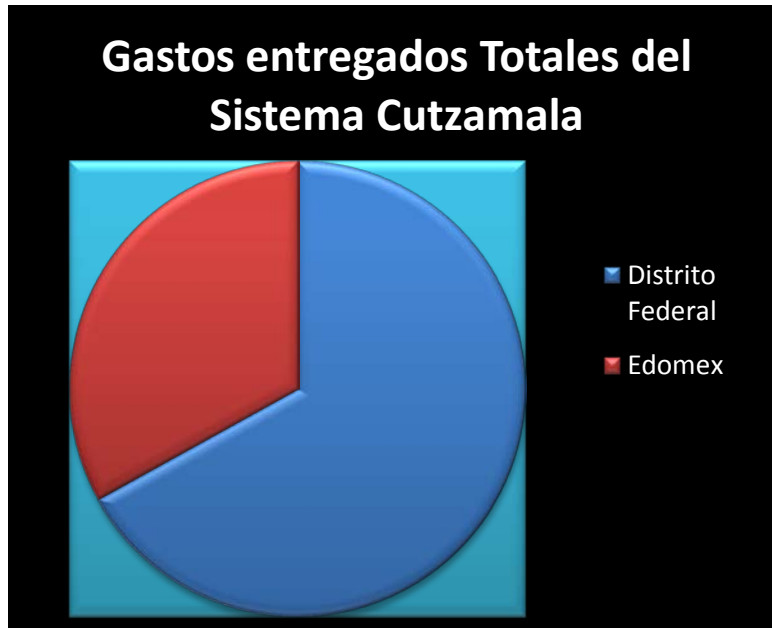


Figura 3.9: Gastos que aporta el sistema Cutzamala (gastos totales) al Distrito Federal y al Estado de México.



Figura 3.10: Gráfica comparativa donde se muestran los gastos que aporta la Cuenca de Valle de Bravo con respecto al total de aguas del sistema Cutzamala.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL BALANCE HIDRÁULICO

De los registros para el período 1991-2008, el mínimo nivel de almacenamiento se alcanzó en junio de 2006, cuando el almacenamiento estuvo por debajo del nivel promedio de los últimos 16 años. Esta afectación no sólo provocó problemas en el almacenamiento de la presa, sino también afectó a los manantiales que abastecen de agua a los pobladores para sus distintos usos.

Los niveles extraordinariamente bajos registrados en 2006, fueron compensados con el trasvase de agua desde la presa Colorines entre finales de 2006 e inicio de 2007. El trasvase por un lado, permitió recuperar el nivel de la presa, aunque se estima que esto ocasionó la propagación de lirios en el almacenamiento. El mecanismo de trasvase desde otras presas del Sistema Cutzamala hacia la de Valle de Bravo es habitual cuando esta última alcanza valores mínimos. Las presas que aportan el volumen de agua son usualmente El Bosque y Colorines.

Los bajos almacenamientos que se pueden llegar a presentar, derivan en los cortes en el abastecimiento que actualmente se implementan en la Ciudad de México y su zona metropolitana.

En los estudios realizados por fuentes de gran confianza como lo es la CONAGUA y el IMTA, se analizaron tendencias basados en datos de registros hidrométricos correspondientes a cinco estaciones y registros de precipitación para cuatro estaciones ubicadas en la cuenca. Dicha evaluación de tendencias en el escurrimiento y variación climática se enfrentó a las limitaciones dadas por registros incompletos y series de datos para períodos relativamente cortos, entre las más importantes.

La evaluación de tendencia climática para las cuatro estaciones climatológicas indica una leve tendencia negativa para la precipitación y aumento ligero en la temperatura. No existen registros de sedimentos para el área que permitan evaluar la relación entre precipitación, escurrimiento, sedimentos. Los análisis realizados atribuyen las tendencias en temperatura y precipitación a fenómenos naturales y un impacto derivado del crecimiento de la urbanización y cambio de uso de suelo.

3.4 Estudios Históricos de la Calidad del Agua

FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL EMBALSE

Las principales fuentes de contaminación del agua, y que afectan directamente al Vaso de la Presa de Valle de Bravo, por el tipo de contaminantes que involucran se pueden agrupar de la siguiente manera:

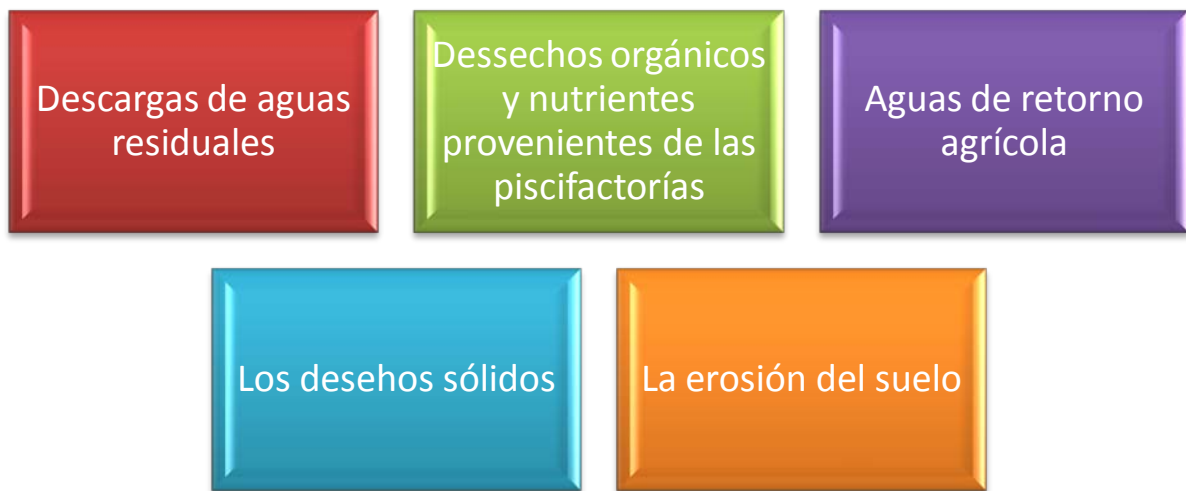


Figura 3.11: Origen de las principales fuentes de contaminación del embalse de la presa. (Fuente: autor)

Las Descargas de Aguas Residuales.

En la cabecera municipal de Valle de Bravo, el sistema de drenaje es combinado y cubre el 86% de la población. Las aguas residuales y pluviales colectadas son tratadas en la planta El Arco, trabajando actualmente a su máxima capacidad la cual es de 100 l/s, para posteriormente ser descargadas al río Tilostoc, del otro lado de la cortina de la presa.

Los sistemas de fosas sépticas cubren prácticamente el resto de la cabecera municipal y el área conurbada. Otros sistemas de desalojo lo constituyen las descargas directas a ríos, a barrancos y al embalse de la presa.

La mayor fuente de contaminación al embalse fue el río Amanalco que, hasta el año 2005, recibía las descargas directas del municipio del mismo nombre. El Plan para la gestión de la Cuenca de Valle de Bravo logró que recientemente entrara en operación una planta de tratamiento de aguas residuales y comenzar el saneamiento del río Amanalco.

Actualmente, el río Tizates es el que presenta mayor grado de contaminación, y está considerado como un curso de aguas residuales, seguido del río Los González.

✚ Los Desechos Orgánicos y Nutrientes Provenientes de las Piscifactorías.

En la parte alta de la Cuenca, el agua es utilizada para producción de trucha en 94 granjas de las cuales aproximadamente 30% hace su aprovechamiento bajo las normas y el resto es irregular (datos obtenidos de un estudio de campo realizado por Pichardo Pagaza en el año 2007).

Las instalaciones utilizan el agua limpia de los manantiales, y en el proceso se le cargan contaminantes como nutrientes, químicos y sólidos provenientes de los alimentos y excretas.



Figura 3.12 En algunos sitios las aguas residuales siguen siendo vertidas en crudo a las corrientes que desembocan en el vaso de la Presa. (Fuente: Comisión de la Cuenca de Agua para el Valle de México, CONAGUA).

Según estimaciones, la producción de las 500 toneladas de trucha cultivada en la cuenca, genera por año 533 toneladas de materia en suspensión, 91 toneladas de amoníaco, 3.75 toneladas de nitratos, 4.8 toneladas de fosfatos y 10.5 toneladas de fósforo total.

✚ Agua de Retorno Agrícola.

El principal aporte proviene del río Amanalco, donde se localiza la zona agrícola más importante de la cuenca.

El río Amanalco arrastra importantes cantidades de fosfatos y nitratos utilizados en la agricultura. Además, arrastra parte de los suelos en los cuales se realizan los cultivos, por lo que genera gran cantidad de azolves en el vaso de la presa.

Como se había mencionado anteriormente, las aguas residuales de la cabecera municipal del municipio de Amanalco han logrado ser tratadas, sin embargo resulta muy difícil controlar la contaminación de este tipo. Es necesario que dentro de la cuenca se aplique estrictamente un plan agrícola sustentable para evitar la pérdida de suelos y el arrastre de material de azolves.



Figura 3.13 Las fuertes pendientes y la geología de algunas zonas, representa una fuente de erosión al suelo que se expresa en el aumento de los azolves. Fuente: Comisión de la Cuenca de Valle de Bravo - Amanalco, CONAGUA.

✚ Los Desechos Sólidos.

Otra fuente de contaminación corresponde a los desechos sólidos que son descargados a barrancas y ríos, y arrastrados por el agua hasta llegar al embalse. Tal es el caso del arroyo Las Flores o Tizates, Rincón de Estrada y Tres Puentes.

✚ La Erosión del suelo.

Evaluaciones realizadas por el IMTA entre 1993 y 2006 determinaron que 60% de los nitratos, fosfatos y azolves provienen del área de captación del río Amanalco, principal afluente de la presa.

En la porción que corresponde a la subcuenca de Amanalco, se desarrolla la agricultura en parcelas con pendientes de hasta 50%, presentando suelos altamente erosivos.

Con base en la cartografía de erosión hídrica potencial, se estimó el 66% de la superficie (15,438.44 hectáreas) presentaba tasas de erosión cercanas a las 160 toneladas / hectárea / año, lo que equivale a tener un aporte de 2 millones de m³ anualmente, en tanto el resto de la superficie (7,924.56 ha) presentaba tasas alrededor de las 80 toneladas / hectárea / año, equivalentes a tener anualmente 0.6 millones de m³ de azolves.

ANÁLISIS HISTÓRICO DEL COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL VASO DE LA PRESA

Con los estudios que realizaron la CNA (CONAGUA), el IMTA y otras fuentes, se obtuvo una compilación de la información existente para determinar el progreso de la calidad del agua en las últimas décadas. Es importante mencionar que en el año 2004, se decide integrar y analizar la información generada, con el propósito de elaborar un documento rector que permita un manejo integral que coadyuve al desarrollo sustentable de la cuenca.

Los estudios realizados comprenden puntos de muestreo tanto en el interior del embalse, como en los afluentes que lo alimentan. Ello nos permite observar los principales problemas que existen en la cuenca, determinar con mayor precisión los puntos donde existen problemas por contaminación, y determinar las acciones posibles de saneamiento y mitigación de daños ambientales.

Así mismo, se muestra una cronología breve con las observaciones y algunos de los resultados obtenidos durante dichos estudios, aunque de forma introductoria se presentan algunos conceptos fundamentales para comprender de forma sencilla los estudios.



Figura 3.14: La CNA en conjunto con el IMTA desarrollaron un plan de gestión Integral de la Cuenca, con el fin de impulsar un desarrollo sustentable dentro de la región. Fuente: Diagnóstico de la Cuenca de Valle de Bravo (CONAGUA e IMTA).

CRONOLOGÍA DEL DETERIORO DEL EMBALSE

Se presenta a continuación una breve reseña de las conclusiones a las que llegaron los primeros estudios generados desde la década de los 80's:

- 1) Entre los primeros estudios relacionados con la calidad del agua de este embalse están los de Deguchi, *et al*, realizados en el año de 1980. Los estudios concluyen que el embalse tiene un estado trófico de tipo oligotrófico.
- 2) En el estudio de Olvera realizado en el año de 1992, se presentan las siguientes problemáticas:
 - ✓ El embalse se define como un lago cálido monomictico de segundo orden, estratificado en verano, con la formación de un termoclina a 8 metros de la superficie y valores de oxígeno disuelto cercanos a los 2 mg / l.
 - ✓ La acumulación de bacterias, debido a las descargas de nitrógeno y fósforo es notable, especialmente por las cargas aportadas del río Amanalco y la descarga del Mercado.
 - ✓ Se concluye que para solucionar el problema trófico del embalse se deben de eliminar todas las descargas de aguas residuales, y controlar la contaminación presente en el río Amanalco.
- 3) En los resultados presentados por Olvera et al en el año de 1993, se concluye que existe la problemática de estratificación durante los veranos, pero tendiendo a estar en dicha situación durante un mayor tiempo. Así mismo la proliferación de malezas acuáticas, como lo es el lirio, empieza a estar presente. La presencia de malezas acuáticas es indicativo de la presencia de contaminación y decremento de la calidad del agua.
- 4) En el estudio de Olvera realizado en el año de 1998, se presentaron las siguientes problemáticas:

- ✓ El lago permanece estratificado durante nueve meses con condiciones anóxicas en el fondo durante la estratificación. Dicha anoxia hipolimnética es consecuencia de los nutrientes provenientes de los sedimentos hacia el embalse, representando con ello un riesgo al equilibrio del ecosistema e incrementando paulatinamente el nivel trófico de la presa.
 - ✓ Se calcularon coeficientes de exportación de fósforo y nitrógeno altos, derivado de los distintos usos de suelo en la cuenca del Río Amanalco.
 - ✓ Los resultados de la evaluación bacteriológica establece que el embalse no cumple con los límites permitidos para una fuente de abastecimiento de agua potable.
- 5) En el estudio realizado por la CNA / IDECA en el año de 1999, se determinan las calidades de agua para el embalse, y se concluye que:
- ✓ El grado de eutroficación al que ha llegado el embalse se debe al aporte antropogénico de nutrientes tales como fósforo y nitrógeno principalmente, provocando brotes de micromalezas.
 - ✓ En cuanto al total de fósforo que entra al embalse, el 57% proviene de fuentes puntuales, y el 43% de fuentes difusas.
 - ✓ Así mismo, con el nitrógeno se determinó que el 86% proviene de las descargas de aguas residuales y el 14% por contaminación difusa.
- 6) En los estudios llevados a cabo por Ruíz y Ordoñez en el año 2000, se concluye que:
- ✓ El exceso de nutrientes, las condiciones superficiales de un pH básico y temperaturas que oscilan entre 20 a 25 ° C, favorecen el desarrollo de las cianofitas, con la posible presencia de especies toxigénicas.

- ✓ El embalse entra a una categoría en la que presenta de altas a muy altas concentraciones de Nitrógeno total.
 - ✓ Debido a las concentraciones de fósforo, clorofila, transparencia y la composición biótica de fitoplancton, ubican al embalse como mesotrófico con una clara tendencia hacia el nivel eutrófico.
- 7) En los estudios llevados a cabo por la CNA y el IMTA en el año 2001, se concluye que:
- ✓ Debido al aporte de fósforo y nitrógeno antropogénico se tiene una tendencia hacia un mayor grado de eutroficación, siendo este fenómeno constante.
 - ✓ La generación de micromalezas acuáticas, la infestación de algunas clases de hidrófitas, la mortandad de peces, la espuma, los malos olores entre otros, son síntomas inequívocos del deterioro de la calidad del agua del embalse.
- 8) En los estudios llevados a cabo por la CNA en conjunto con ACUAGRANJAS en el año 2002, se concluye que:
- ✓ El embalse se encuentra en un estado eutrófico muy claro.
 - ✓ La turbiedad, la visibilidad y la cantidad de clorofila tipo a tienen valores cada vez más altos.
 - ✓ La eutroficación es un proceso constante en el embalse, y tiende a aumentar sus niveles de eutroficación
- 9) En los estudios llevados a cabo por la CNA en conjunto con ACUAGRANJAS en el año 2003, se concluye que:
- ✓ El agua del embalse sigue teniendo una disminución en cuanto a su calidad.
 - ✓ El pH disminuye drásticamente.
 - ✓ Debido a la combinación de factores como aumento de la temperatura y los nutrientes presentes, los microorganismos

tienden a ir en aumento. Por ejemplo, existe una presencia de coliformes totales que se registra año con año con una mayor presencia.

10) En los estudios llevados a cabo por la CONAGUA en conjunto con ACUAGRANJAS y el IMTA en el año 2004, se concluye que:

- ✓ Es muy probable que exista un intercambio de fósforo entre la interfase del agua y el sedimento del embalse.
- ✓ Durante el monitoreo se observó una clara estratificación del embalse, con actividad fotosintética en el epilimnio.
- ✓ Se observa un incremento importante en la DQO superficial, debido a la presencia de microalgas.

Es importante mencionar que es en este año cuando entra en vigor el plan de Desarrollo Sustentable de la Cuenca adoptado a través de la creación de la Comisión de la Cuenca de Valle de Bravo. Es por eso que en los estudios que realizamos para el presente documento, esperamos ver mejores resultados en cuanto a la calidad del agua dentro del embalse.

Para finalizar con esta cronología, se presentan los parámetros que resultaron durante los estudios anteriormente mencionados. Los parámetros físico – químico y biológicos, y se muestran en las gráficas con las líneas de tendencia, con el fin de llegar a analizar la situación actual del embalse y poder llegar a generar alguna predicción en lo que a su comportamiento se refiere. Con base a las gráficas se analiza lo que la reseña cronológica menciona, en cuanto al avance del nivel trófico eutrófico del embalse:

CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA VALLE DE BRAVO

PARÁMETRO	VALORES PROMEDIO PARA LOS ESTUDIOS REALIZADOS EN LOS AÑOS					
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
pH	6.8	7.1	8.7	7.12	6.06	8.5
Turbiedad (UTN)	3.6	3.8	5.4675	5.5	8.97	23.74
Dureza Total (mg / l)	76.1	84.7	70.04	58.7	71.5	59.2
Transparencia (m)	1.4	2.23	1.41	1.26	nd	1.3
DBO ₅ (mg/l)	5	6.5	5.7	4.24	5.8	3.2
DQO (mg/l)	8	8	13.56	10.33	11	6.18
N - amoniacal (mg/l)	0.08	0.12	0.37	0.14	0.21	0.24
Nitritos (mg/l)	0.006	0.003	0.028	0.02	0.14	0.01
Nitratos (mg/l)	0.106	0.116	0.23	0.106	0.184	0.2
Fosfato Total (mg/l)	0.145	0.066	0.10	0.182	0.071	0.034
Ortofosfatos (mg/l)	0.024	0.004	0.176	0.077	nd	nd
Grasas y aceites (mg/l)	0.2	0.33	0.32	0.35	0.4	0.87
Sólidos Totales (mg/l)	107	126	104.59	105.91	93.05	91
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	9,000	6,750	6,925	7,021	6,477	5,379
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	120	540	1,716	3,401	4,012	508

Tabla 3.6 Parámetros físico – químicos y biológicos del vaso de la Presa Valle de Bravo, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

A continuación, se muestran las gráficas de los parámetros anteriormente señalados: (Figuras 3.15 a 3.26, Elaboradas por el autor con base en la Tabla 3.6):

Parámetros físico - químicos

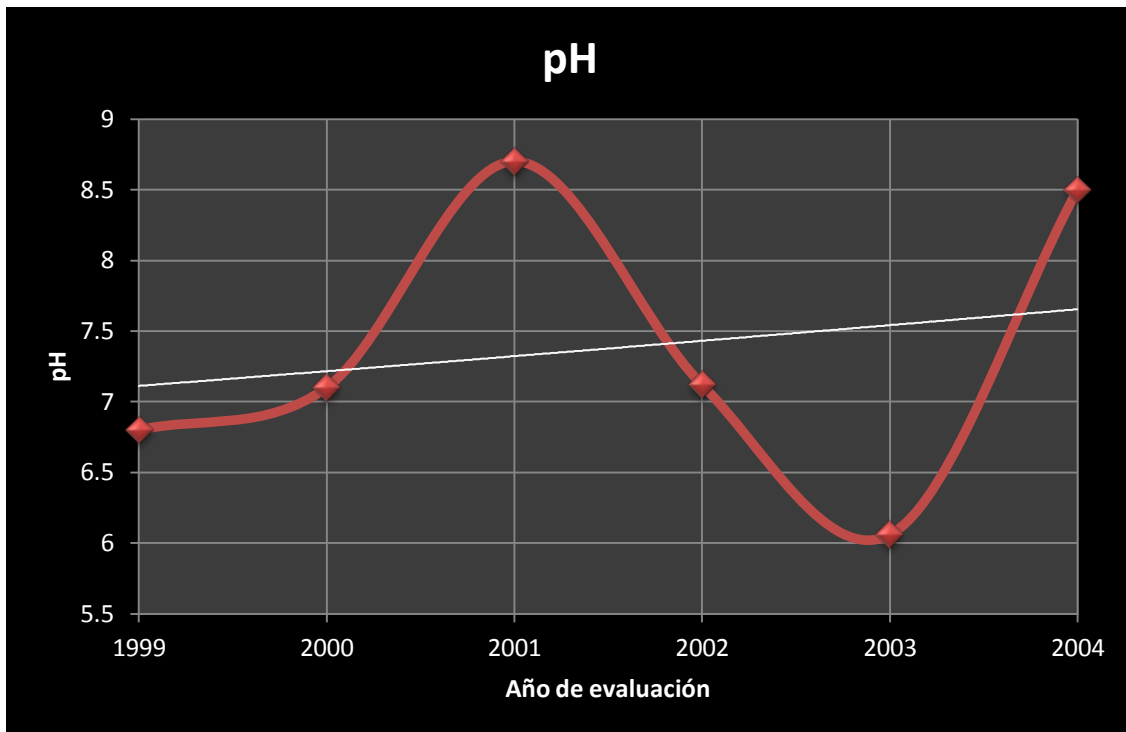


Figura 3.15 Parámetros físico – químicos PH, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

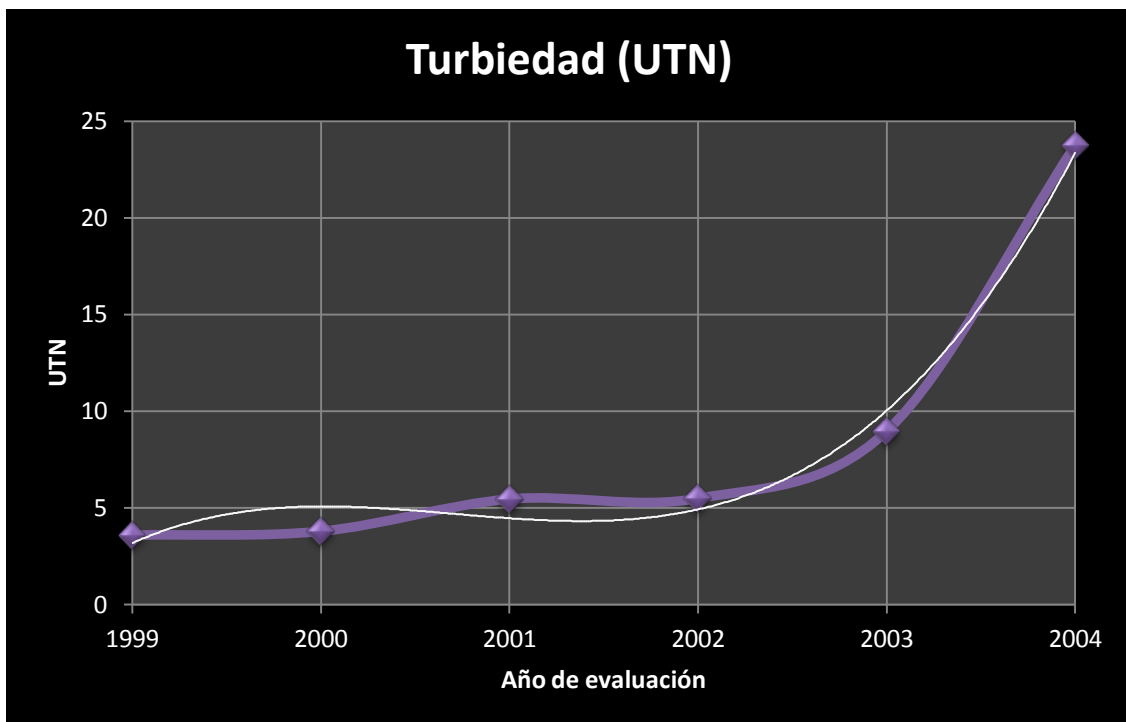


Figura 3.16 Parámetros físico – químicos Turbiedad, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

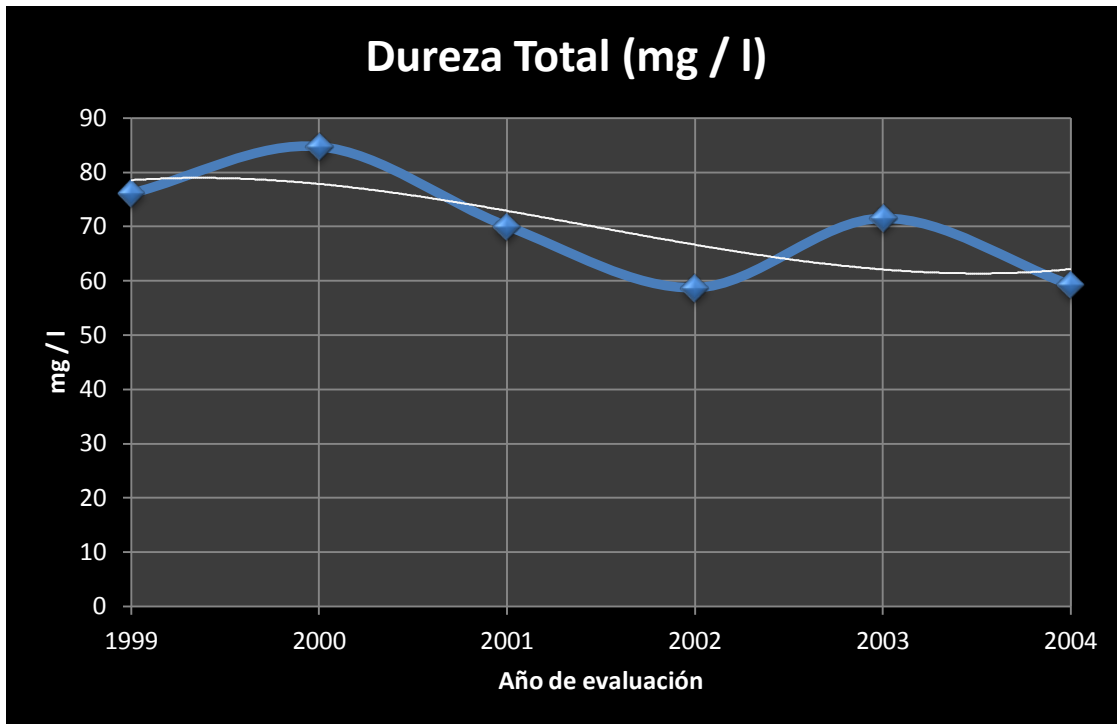


Figura 3.17 Parámetros físico – químicos Dureza Total, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

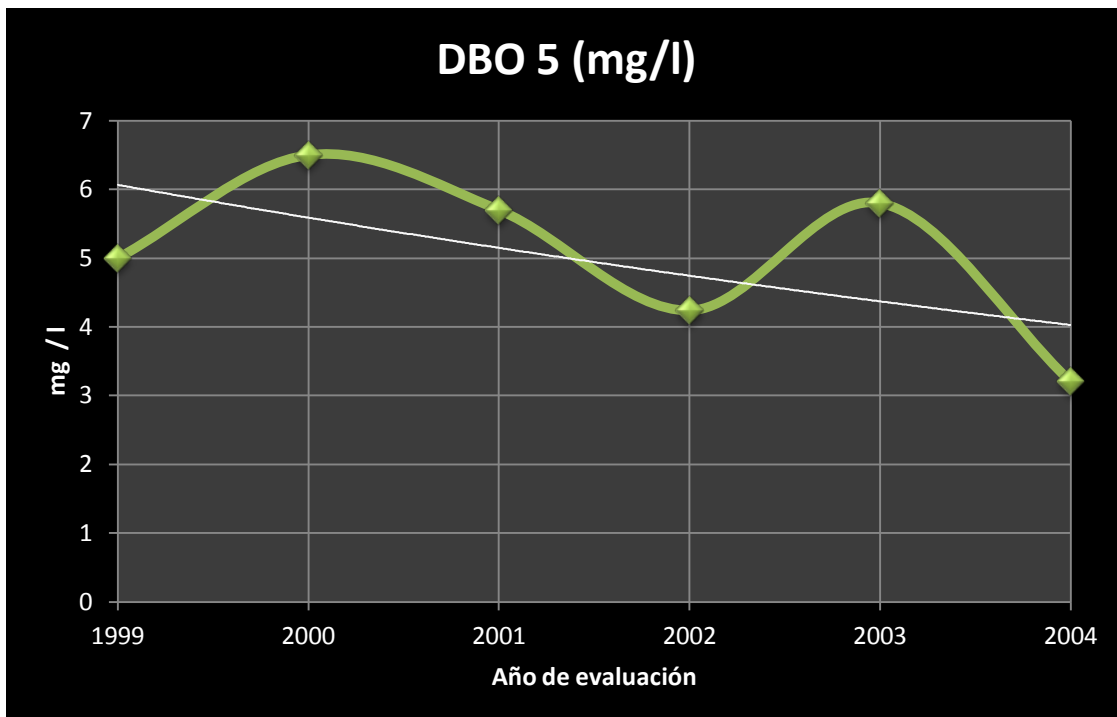


Figura 3.18 Parámetros físico – químicos DBO - 5, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

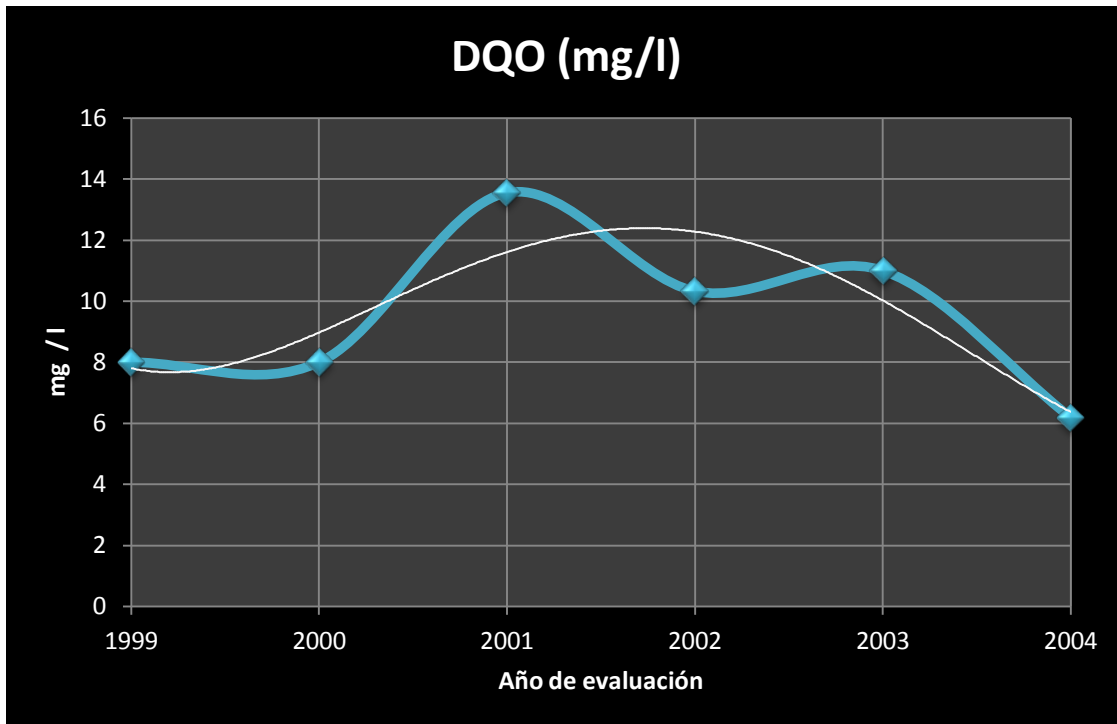


Figura 3.19 Parámetros físico – químicos DQO, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

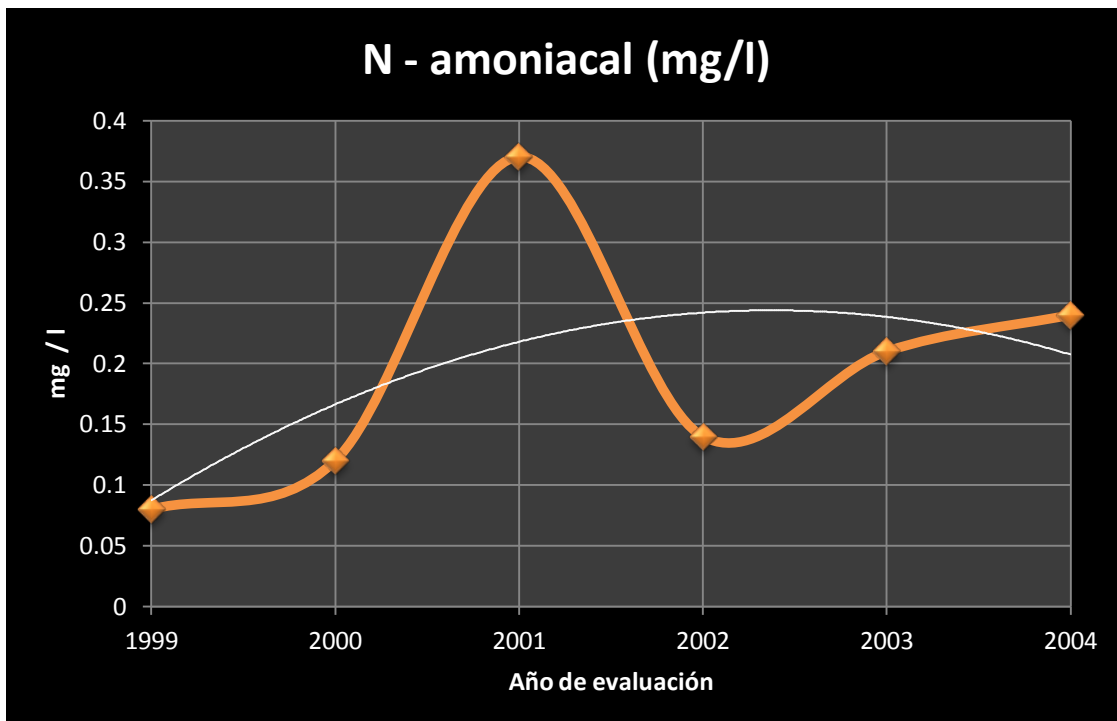


Figura 3.20 Parámetros físico – químicos Nitrógeno Amoniacal, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

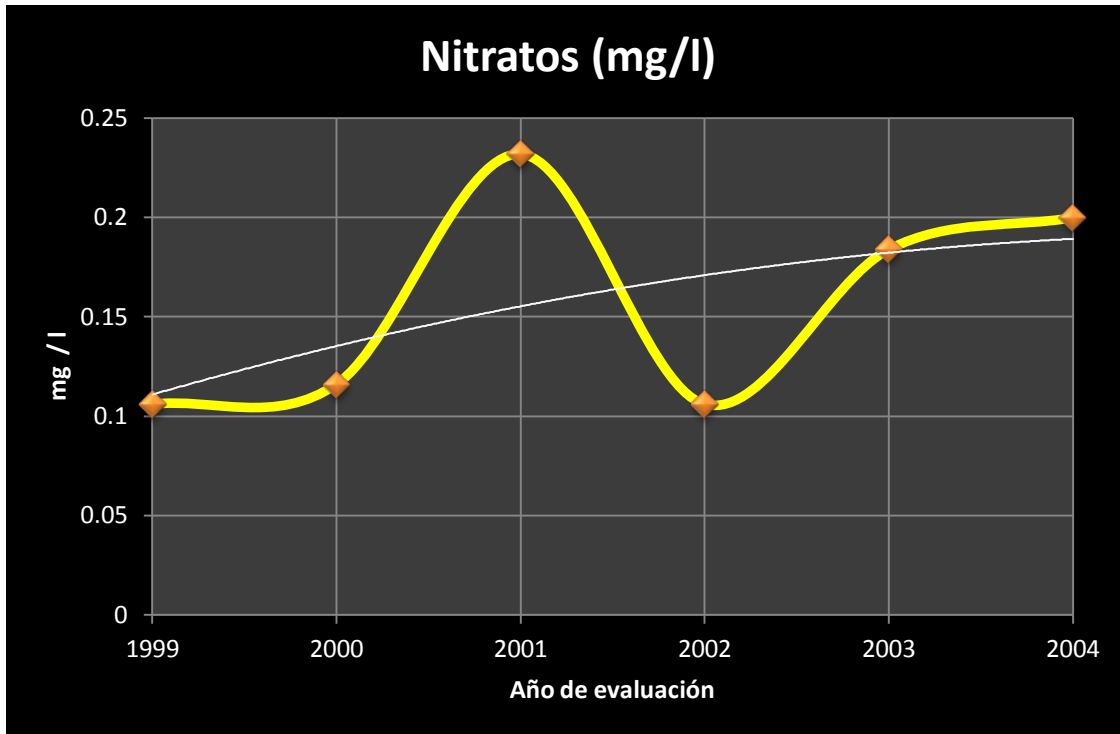


Figura 3.21 Parámetros físico – químicos Nitratos, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

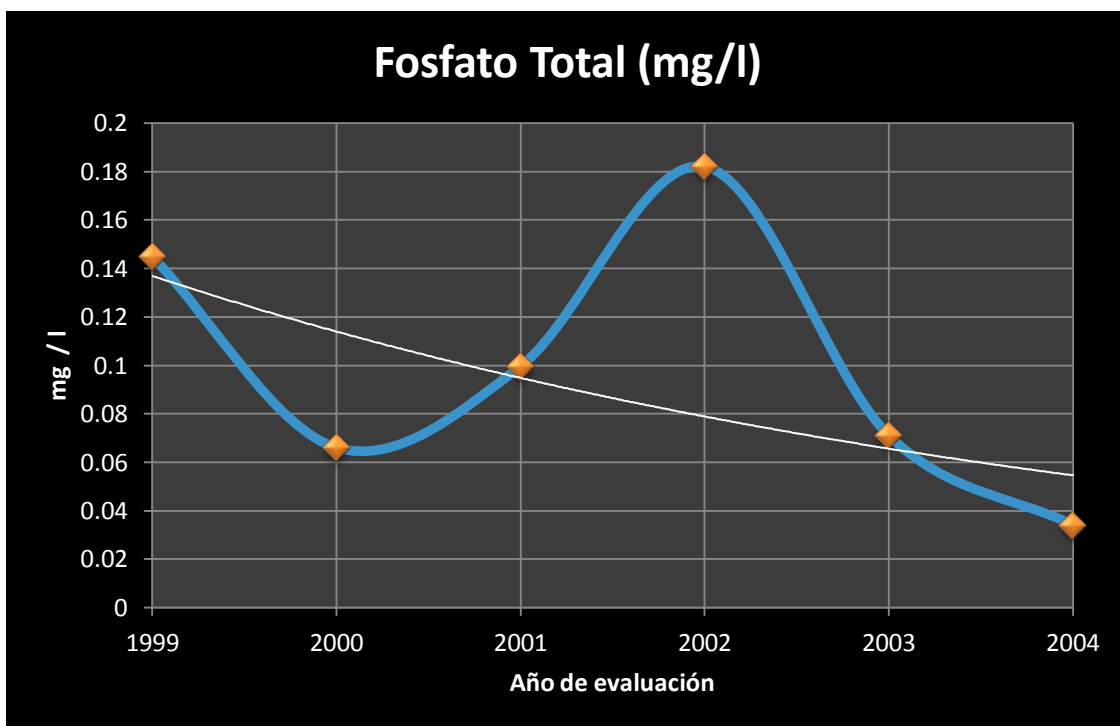


Figura 3.22 Parámetros físico – químicos Fosfato Total, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

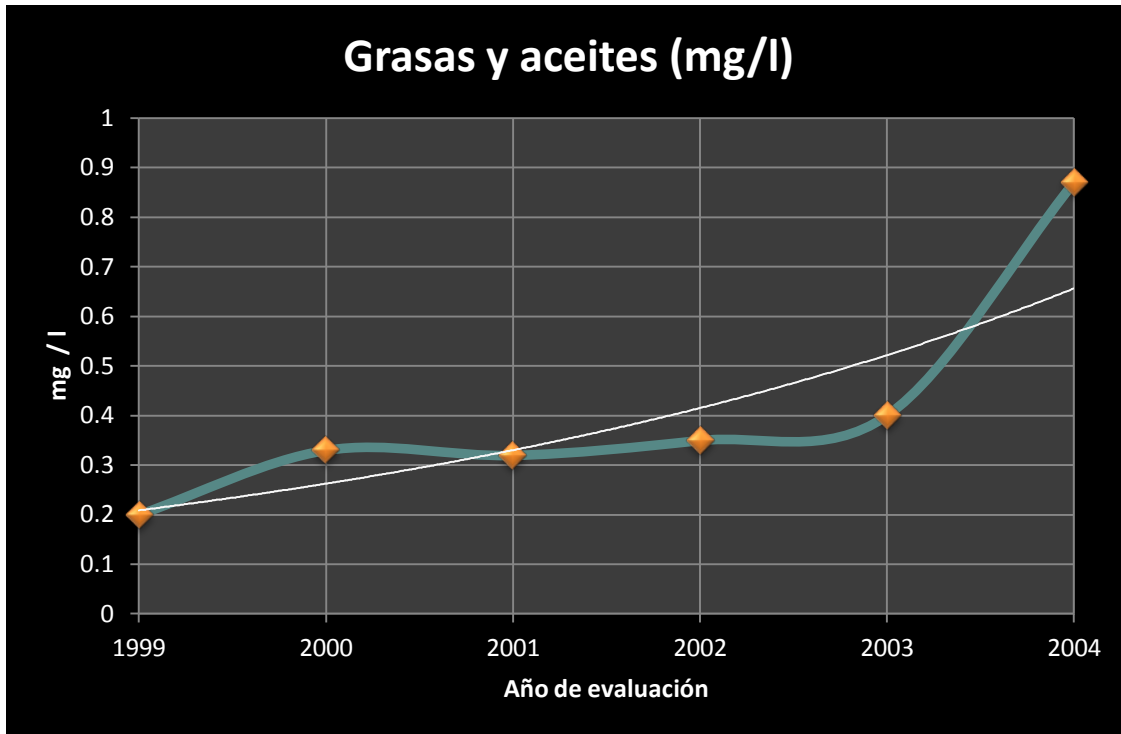


Figura 3.23 Parámetros físico – químicos Grasas y aceites, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

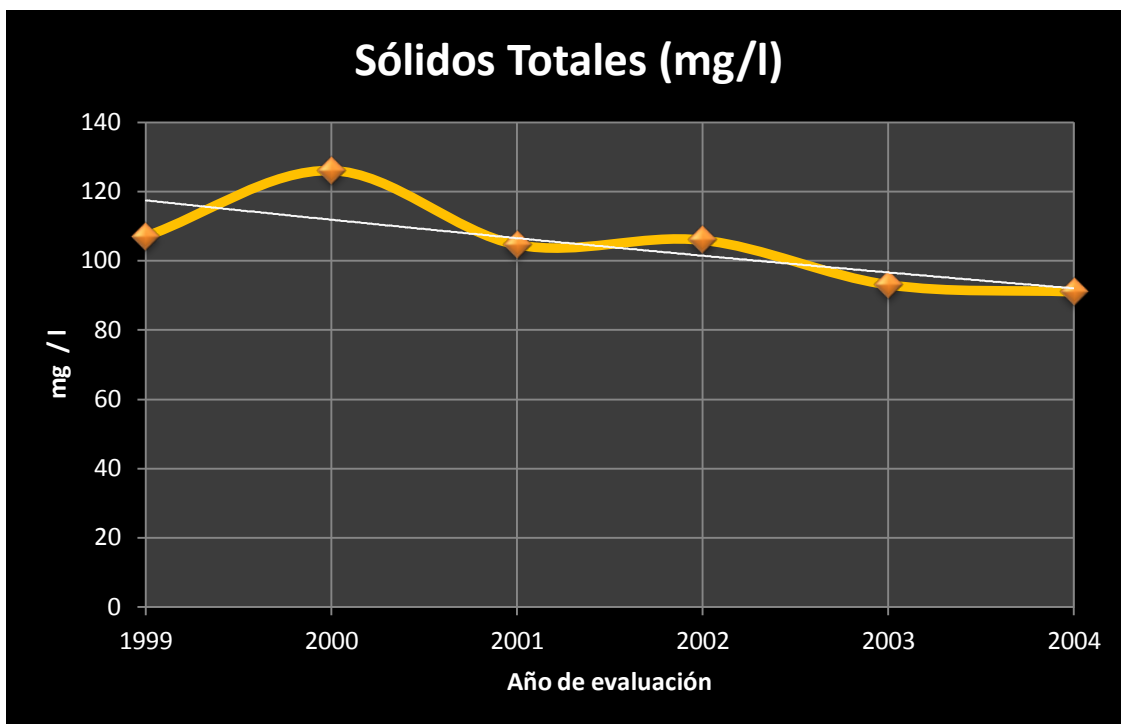


Figura 3.24 Parámetros físico – químicos Sólidos Totales, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

Parámetros biológicos

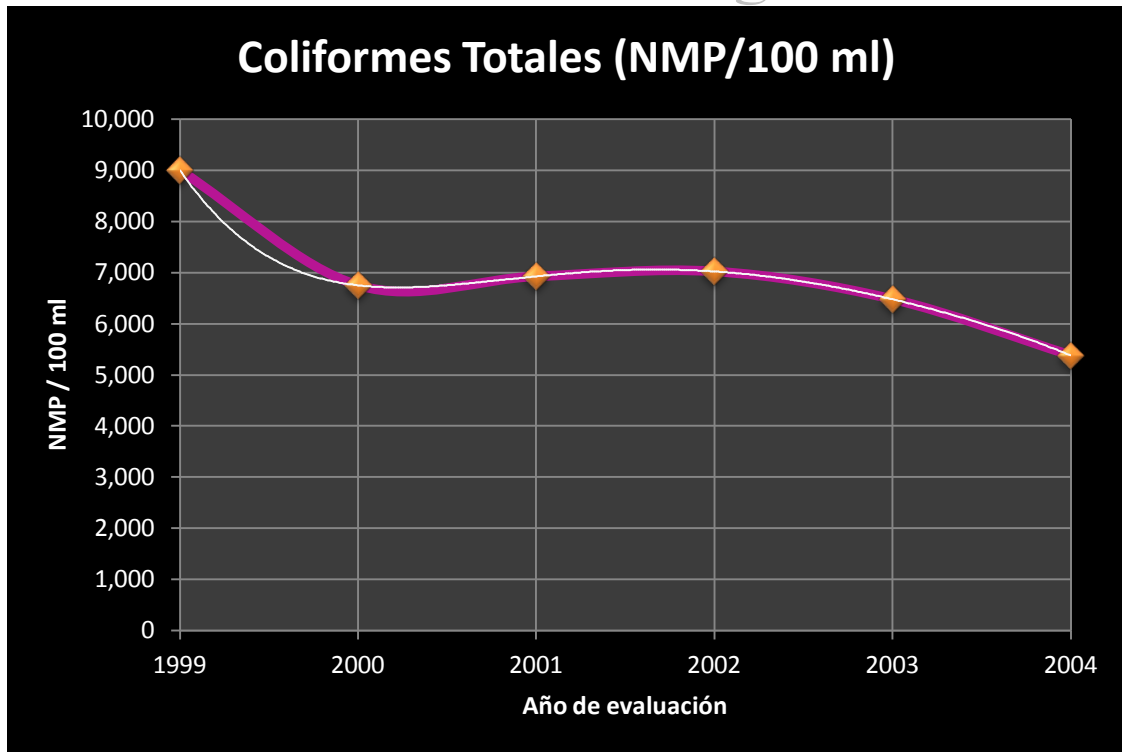


Figura 3.25 Parámetros Biológicos. Coliformes Totales, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

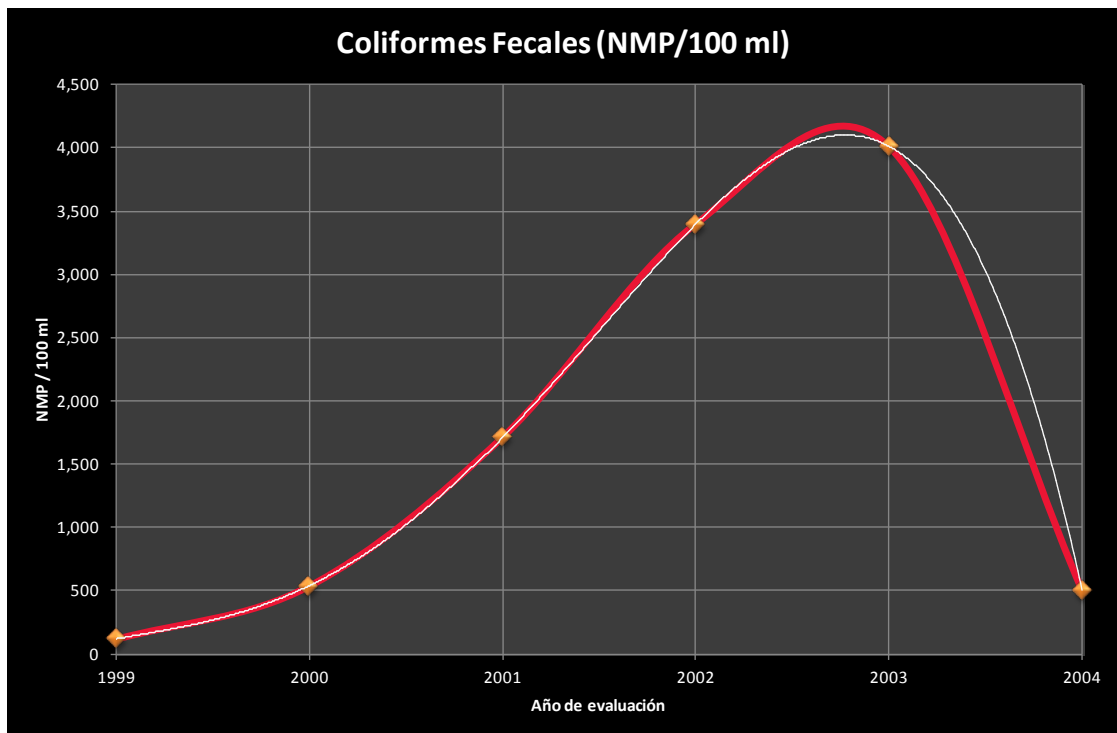


Figura 3.26 Parámetros Biológicos. Coliformes Fecales, Fuentes: COANGUA (CNA), ITMA, diversos.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Producto de la entrada de nutrientes en el embalse, se observa un proceso de eutroficación del sistema, mismo que debe manejarse para un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, y mantener la vida útil de la presa.

Para los estudios realizados durante los últimos años en el embalse, se dibujaron las gráficas, con sus líneas de tendencia, de algunos de los parámetros que son importantes para la determinación del estado trófico.

De las líneas de tendencia observadas, se puede concluir el aumento de los parámetros físico – químicos y de los parámetros biológicos:

- ✚ El pH, aunque tiene valores muy bajos para el año 2003, presenta para el 2004 una tendencia más favorable hacia los valores neutros a ácidos. La variación con respecto al tiempo que se observa en este parámetro es muy grande, y en realidad para un periodo de muestreo tan pequeño no se puede determinar una clara tendencia hacia donde se inclina el pH.
- ✚ Para la Turbiedad, existe un claro aumento en los niveles UTN, y la tendencia es clara a mantener en aumento estos niveles. Posiblemente la gran cantidad de azolves que se genera contribuyen al aumento de dichos valores. Es importante cuidar este aspecto, ya que una mayor cantidad de azolves podría significar un aumento en la tala del bosque, cambios del uso de suelo de forestal a agrícola, una pérdida importante de la vegetación del suelo, o incluso que la población dedicada a la agricultura no esté respetando los lineamientos de conservación de los suelos.
- ✚ Con respecto a parámetros como lo son la dureza, la DBO y la DQO, se observa que la tendencia comienza a ser satisfactoria, y que posiblemente ya se hayan alcanzado los valores máximos. En el futuro próximo se podría esperar que dichos parámetros tengan menores valores, lo que significa que se han reducido las descargas de aguas residuales a las corrientes que llegan al embalse debido a un manejo de las mismas y que los programas de saneamiento que se aplican en la cuenca están funcionando adecuadamente.

- ✚ Los contaminantes del agua tales, entre ellos los derivados del nitrógeno y fósforo, e igualmente los sólidos suspendidos si bien cuentan con periodos de altas y bajas, son parámetros que tienden a estabilizarse, es decir que empiezan a mantener una misma concentración. Sin embargo, esto es un fenómeno positivo, ya que el mantener los mismos niveles posiblemente sea una evidencia de un mejor aprovechamiento de los fertilizantes dentro de la cuenca, de que han terminado de utilizarse indiscriminadamente, y que posiblemente empiece a revertirse el fenómeno de aumento de nutrientes en los próximos años.
- ✚ En cuanto a las grasas, se observa un aumento significativo en su concentración, y la tendencia indica que en lugar de ir abatiéndose los niveles que existen, seguirán aumentando de forma importante durante un periodo de tiempo quizás no tan corto. Es posible que las grasas y aceites se deban a los malos manejos existentes en las cargas y descargas de combustibles para las lanchas y en general de los vehículos acuáticos, al mal estado de conservación que presenten, a una falta de control sobre la eficiencia y las emisiones de los motores a combustible fósil que naveguen en las aguas del embalse, y posiblemente a algunas aportaciones clandestinas de aguas residuales que se deban de detectar y atacar.
- ✚ En cuanto a los parámetros biológicos, es importante mantener vigilados los índices que se presentan (Coliformes Totales y Coliformes Fecales). Es elevada la concentración que se tiene de los parámetros biológicos, y debe observarse que las aguas se utilizan para su tratamiento al consumo humano y para fines recreativos (especialmente se mencionan estos dos porque significan el contacto directo de los seres humanos con el agua). Se observa que la tendencia va a la baja, lo que involucraría una mejor calidad del agua, aspecto muy favorable para el embalse.

El agua del embalse en general cumple parcialmente con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, Sin embargo no cumple con la NOM 127 que establece los límites máximos permisibles para el agua que se destina para uso y consumo humano.

Es lamentable observar que el estado eutrófico del embalse se haya alcanzado en un periodo corto; si bien se observaba en los estudios llevados a cabo por Deguchi et al, en los años 80´s del siglo XX, el embalse presentaba un nivel

trófico oligotrófico, es decir se deduce que no existían problemas importantes con la calidad del agua, no presentaba exceso de nutrientes y era de muy buena calidad, en el 2003 y 2004 se presentan estudios calificando el estado trófico del embalse como eutrófico, con condiciones de mala apariencia, y parámetros físico químico como biológicos fuera de límites.

Finalmente, existe el compromiso y la obligación de mantener vigilados los siguientes aspectos, tanto en el embalse como es sus afluentes, según reporta la COANGUA a través del plan de la gestión de la Cuenca de Valle de Bravo:

- ✚ Parámetros como lo son la turbiedad, color, grasas y aceites, nitritos, ortofosfatos, aluminio y coliformes fecales (presentes en todos los monitoreos, rebasando los 1,000 NMP/100ml), ya que se rebasan los parámetros permisibles.
- ✚ En cuanto a su uso para la protección de la vida acuática, se exceden los niveles de nitrógeno amoniacal y sulfatos, especialmente observándose esta problemática en los ríos que alimentan al embalse (el río Tizates presenta el mayor problema).
- ✚ Por sus características, se concluye que el río Tizates prácticamente es un dren de aguas negras.
- ✚ En cuanto a los sedimentos, es importante mencionar que los nutrientes fósforo y nitrógeno, junto con el aluminio, se concentran en el fondo de los embalses.
- ✚ Durante la estratificación del embalse, se observó el incremento en la DQO superficial, derivado de la presencia de microalgas o cianofitas.

3.5 Discusión de resultados

Los ecosistemas al estar interrelacionados estrechamente, expresan las consecuencias de los usos irracionales de sus recursos a través de su deterioro.

La Cuenca de Valle de Bravo representa un sistema muy complejo, debido a que son varios los ecosistemas que lo conforman, a que existe una fuerte interrelación entre la población y el medio ambiente, y a las actividades económicas que se desarrollan. Las actividades de las personas impactan al medio ambiente en diferentes formas, y en la cuenca se ha podido observar la siguiente problemática:

- ✚ El área forestal se reduce como producto de la tala ilegal y de la presión por el cambio de los usos del suelo.
- ✚ En las actividades agrícolas, el uso excesivo de agroquímicos aunado a la falta de conservación de los suelos genera grandes aportaciones de contaminantes químicos y azolves.
- ✚ Las cargas orgánicas provenientes de excretas generadas en piscifactorías se vierten en las aguas de arroyos y ríos, y generalmente son arrastradas hasta la zona del embalse.
- ✚ Las descargas de aguas residuales, aunque si bien han tratado de clausurarse completamente, están presentes en los sitios con menor grado de desarrollo dentro de la cuenca o se vierten clandestinamente.
- ✚ Existen vertimientos de desechos sólidos en cauces y manantiales.
- ✚ Así mismo, se observa una disminución en el volumen de aforo de los manantiales y ríos, así como una tendencia negativa en cuanto a precipitaciones anuales promedio (se observan las consecuencias de un cambio climático en donde el cambio del régimen de las lluvias y el aumento de la temperatura son evidentes).
- ✚ Se tienen menores gastos principalmente en la corriente del Río Amanalco, así como una disminución progresiva para cada año de los

niveles de almacenamiento, salvo en casos extraordinarios donde los niveles llegan a ser mínimos y al siguiente año, en el mejor de los casos, recupera sus niveles.

- ✚ El crecimiento demográfico dentro de la cuenca aunque si bien ha tenido un control en los últimos años, sigue siendo importante. El mismo enfoque turístico que tiene la zona ha permitido el desarrollo de diversos fraccionamientos residenciales, crenado a su vez la necesidad de más servicios, y fomentando la migración de personas al interior de la cuenca.

Los problemas que existen dentro de la Cuenca de Valle de Bravo no solo afectan a la región, sino que generan otra cadena de problemas en el exterior de la cuenca, ya que sus recursos son muy importantes para el desarrollo y dotación de agua potable a la zona más poblada del país, que es la Ciudad de México.

Así mismo, y si bien se ha tratado que las variaciones en los volúmenes de agua entregados para los acueductos de la ciudad de Toluca y México sean menos significativos, existen factores del mismo sistema de distribución de agua potable (por ejemplo: el mal funcionamiento de algún componente del sistema, las extracciones clandestinas, los cambios en la demanda e incluso el mismo proceso de mantenimiento) que pueden llegar a generar una variación importante en el aporte de volúmenes. Cabe aclarar que todo ello se suma a la problemática que existe dentro de la cuenca y que se ha mencionado anteriormente.

El comportamiento en los últimos años de los fenómenos meteorológicos y el cambio climático provoca comportamientos atípicos en los regímenes de precipitación. Existen precipitaciones intensas durante periodos cortos de tiempo, ocurriendo este fenómeno durante pocos meses, y teniendo temporadas de sequía cada vez más intensas.

La consecuencia del cambio de los regímenes de lluvias radica en que no se puede llegar a lograr un aprovechamiento óptimo de las aguas de lluvia, los almacenamientos ya no son predecibles, y en cuanto a la erosión hídrica, la tala o remozamiento de las zonas boscosas para la utilización de los suelos,

genera una mayor cantidad de azolves y una menor capacidad de almacenamiento en la presa.

El Cambio Climático Mundial ha creado un círculo vicioso, por llamarlo de alguna forma, en donde aplicado a la cuenca se puede expresar el fenómeno mostrado en la Figura 3.27:

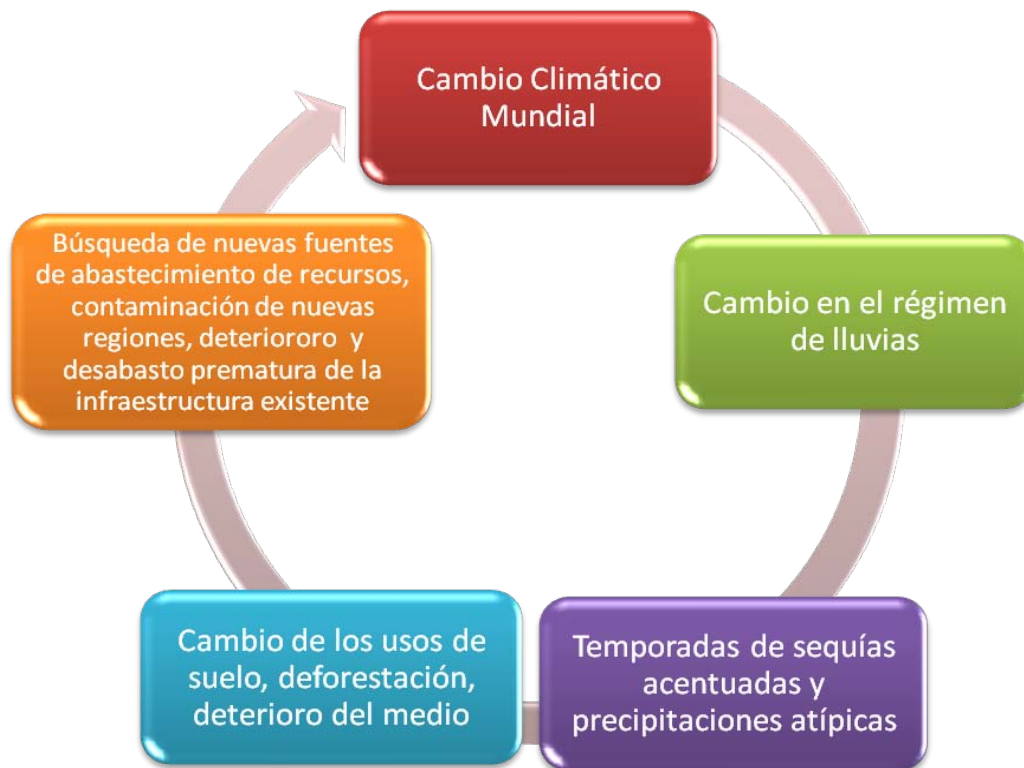


Figura 3.27: Efectos del cambio climático mundial. Fuente: Elaborada por el autor.

En consecuencia de todo lo anteriormente mencionado, tanto gobierno como usuarios de las aguas de la cuenca y la población residente deben de poner especial atención en el manejo del agua, del cuidado de las áreas de captación del recurso hídrico, de la preservación de sus bosques, la protección de los manantiales y de su biodiversidad.

El Ordenamiento Ecológico de la Cuenca de Valle de Bravo-Amanalco fue realizado para regresarle a la cuenca sus cualidades ambientales con un criterio de sustentabilidad, realizando para ello un ordenamiento de las actividades en el espacio correspondiente, e imponiendo las limitaciones y condicionantes para su adecuado aprovechamiento.

El Ordenamiento Ecológico fijó las políticas de protección y conservación de los recursos permitiendo fortalecer las actividades enfocadas al cuidado del agua. Cabe mencionar que el contar con dicho Plan Integral para la gestión de los recursos de la cuenca, no significa que de un año a otro los parámetros o los índices de calidad del agua vayan a mejorar inmediatamente, sino que los resultados se verán reflejados en un mediano a largo plazo.

La contaminación existente, los nutrientes contenidos y acumulados tanto en el agua como en los azolves, y en general el estado eutrófico en que se encuentra el embalse tardará en llevar a cabo el proceso de dilución y depuración de sus contaminantes, pero finalmente estará en función del cumplimiento cabal de las acciones de sustentabilidad acordadas como: la conservación de los suelos, la conservación de las áreas boscosas y del saneamiento en general de la región.