

# 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.

<b>TABLA 1.1</b>		
<b>Mayores lagos naturales en el mundo (por superficie)</b>		
<b>Lago</b>	<b>Area (km2)</b>	<b>Pais</b>
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

<b>TABLA 1.2</b>		
<b>Mayores lagos naturales en el mundo (por volumen)</b>		
<b>Lago</b>	<b>Volumen (km3)</b>	<b>Pais</b>
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

<b>TABLA 1.3</b>		
<b>Mayores lagos naturales de agua en el mundo (por profundidad)</b>		
<b>Lago</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Pais</b>
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.<sup>1</sup>



**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.

---

<sup>1</sup> Lake Baikal, Past, present, future, ATLAS, ATACC, 2004.

<b>TABLA 1.4</b>					
<b>Área y volumen de almacenamiento de los lagos principales de México, según Región Hidrológico-Administrativa y entidad federativa, 2007</b>					
<b>Nº</b>	<b>Lago</b>	<b>Área de la Cuenca propia (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Capacidad de Almacenamiento (mill. m3)</b>	<b>Región Hidrológico-Administrativa</b>	<b>Entidad(es) Federativa(s)</b>
<b>1</b>	Chapala	1 116	8 126	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	Jalisco y Michoacán de Ocampo
<b>2</b>	Cuitzeo	306	920*	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	Michoacán de Ocampo
<b>3</b>	Pátzcuaro	97	550*	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	Michoacán de Ocampo
<b>4</b>	Yuriria	80	188	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	Guanajuato
<b>5</b>	Catemaco	25	454	X Golfo Centro	Veracruz de Ignacio de la Llave
<b>6</b>	Tequesquitengo	8	160*	IV Balsas	Morelos
<b>7</b>	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 km<sup>2</sup> y cuenta con una profundidad promedio que oscila entre los 4 y 6 m.<sup>2</sup>

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 m<sup>3</sup>.<sup>3</sup>

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:

---

<sup>2</sup> Atlas del Agua en México, 2009

<sup>3</sup> 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 km<sup>3</sup>.

TABLA 1.5				
Mayores embalses del mundo, Capacidad superior a 35 km <sup>3</sup>				
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	Caniapiscou 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.- Regadío

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 presas<sup>4</sup>, Figura 1.3.

La capacidad de almacenamiento de las presas del país es de 150 mil millones de m<sup>3</sup>. 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.

---

<sup>4</sup> 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 <sup>3</sup> )	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	Luís 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 <span style="float: right;">(continuación)</span>									
No	Nombre oficial	Nombre común	Capacidad total <sup>a</sup> (mill. de m <sup>3</sup> )	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 <sup>b</sup>	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	
	<b>TOTAL</b>		<b>103 466</b>						<b>10 661.5</b>

NOTAS: <sup>a</sup> 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  
<sup>b</sup> : 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

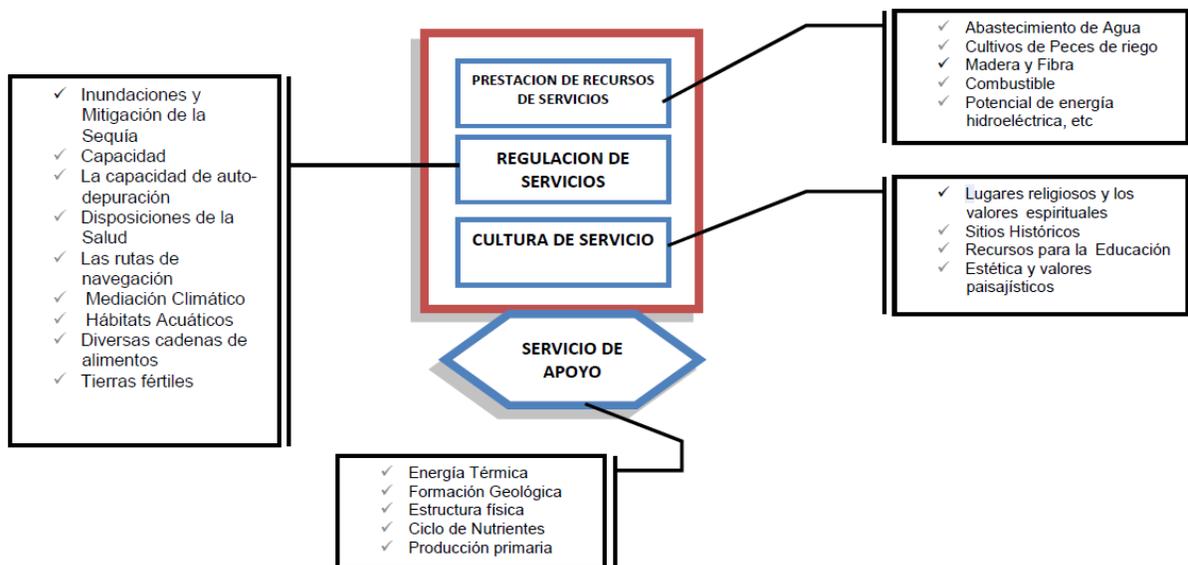
Hoy en día, los usos más importantes del lago son una fuente de agua, como una herramienta en las inundaciones de control y por tanto las actividades recreativas y religiosas. Con demasiada frecuencia la sobreexplotación de los una cuenca lacustre de carga puede aumentar la contaminación de un lago,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

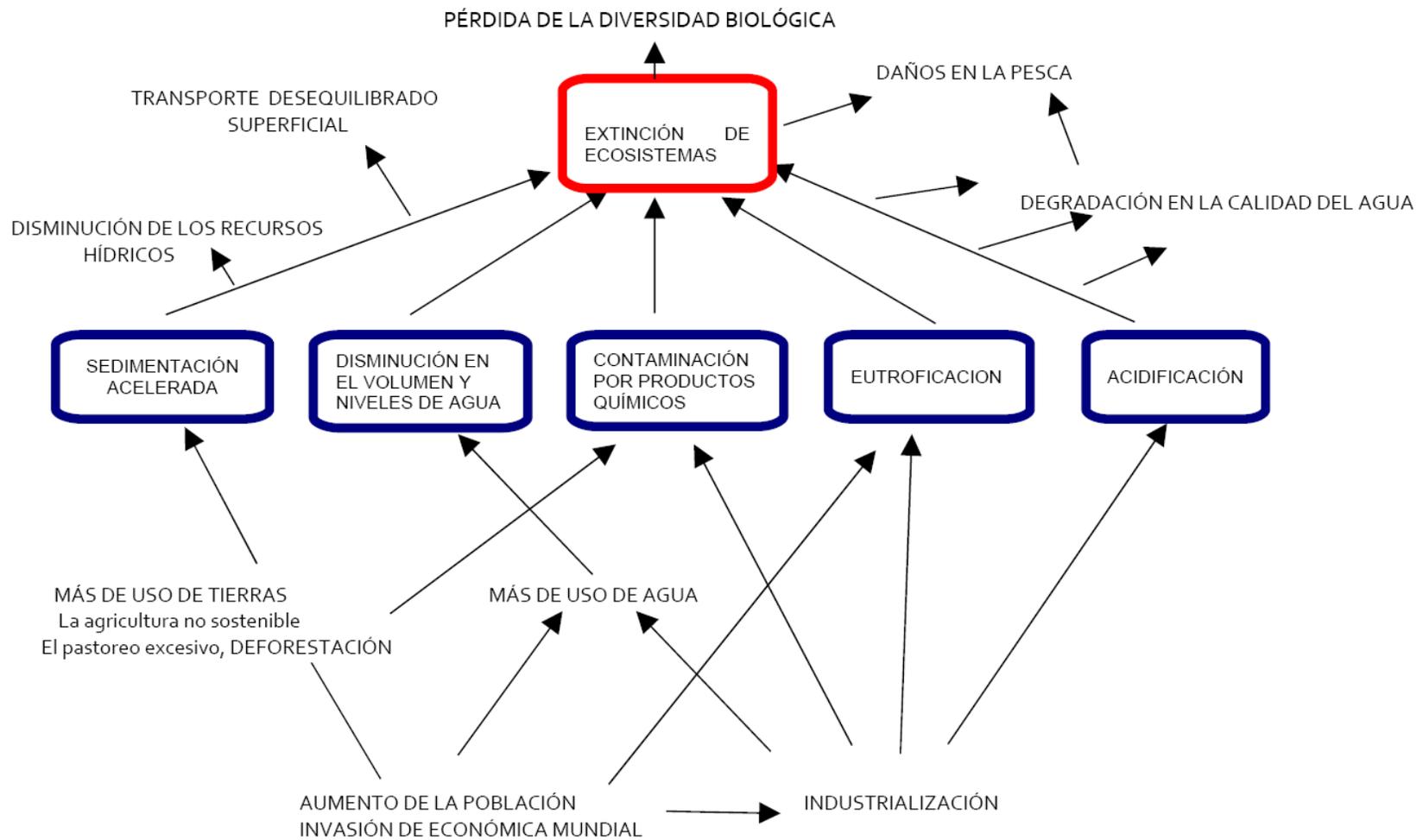


Fig. 1.5. LOS CINCO PROBLEMAS MÁS IMPORTANTES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LAGOS Y EMBALSES COMO SE RECONOCE EN EL ESTUDIO ILEC, SUS CAUSAS Y CONSECUENCIAS, READRAWN DE KIRA (1993).

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 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , 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  $\text{CO}_2$  y de  $\text{H}_2\text{S}$ . Esto puede incluir las turbinas en las centrales hidroeléctricas, e incluso la pared del embalse.

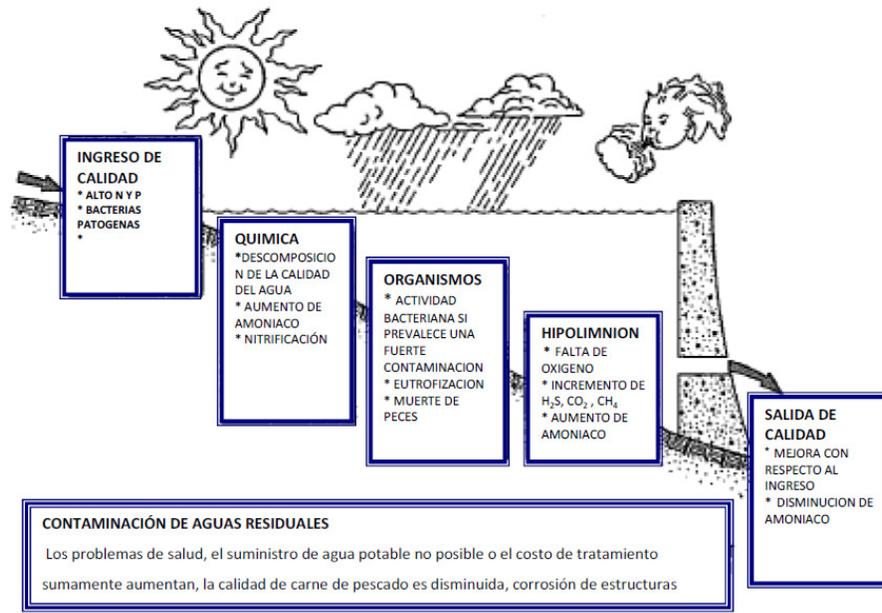


FIGURA 1.6 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS PRINCIPALES CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN EN UN EMBALSE

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.

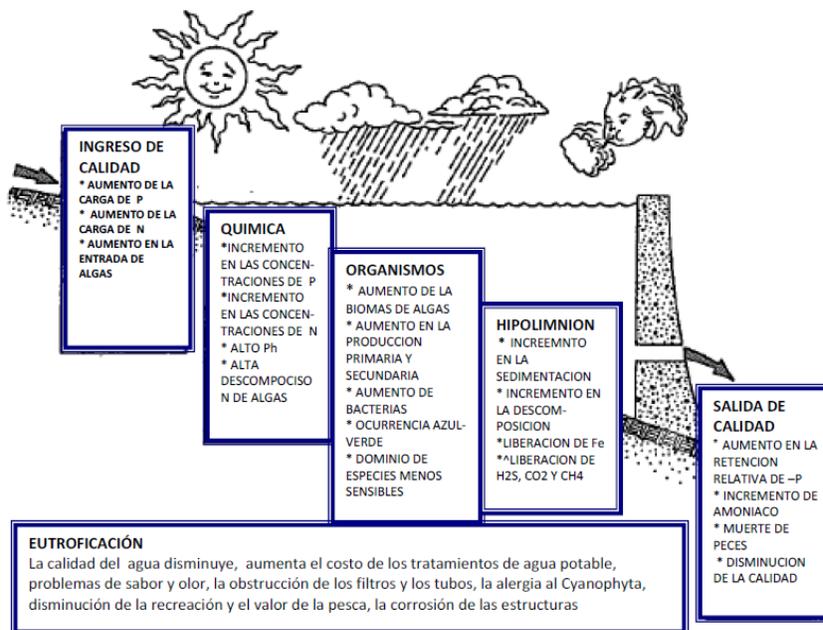


FIGURA 1.7 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS PRINCIPALES CONSECUENCIAS DE LA EUTROFICACIÓN EN UN EMBALSE

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).