

Protección y restauración  
ecológica-ambiental de la Presa  
Abelardo Rodríguez Luján, en  
Hermosillo, Sonora\*

José María del Castillo Alarcón\*\*

\* Este artículo es una versión resumida del informe final del proyecto del mismo nombre. El financiamiento del proyecto estuvo a cargo de la Dirección General de Normatividad Ecológica de la Secretaría de Infraestructura Urbana y Ecología del Gobierno del Estado de Sonora

\*\* Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora

## Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar la problemática de la calidad del agua en la presa Abelardo L. Rodríguez, por ser en la actualidad la principal fuente de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Hermosillo. En él, se identifican las actividades humanas que afectan la calidad del agua y se muestran los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos

y de concentración de metales pesados realizados en el agua de las presas Abelardo L. Rodríguez y El Molinito. Igualmente, se presentan los programas y acciones de prevención, control y restauración que son necesarias para disminuir los impactos negativos de dichas actividades, tanto en la presa como en su área de influencia.

## Introducción

Los impactos de las actividades humanas sobre los diversos componentes del medio no son aislados entre sí, sino que producen variadas interacciones. Estas interacciones generan una serie de consecuencias desfavorables sobre el medio natural que pueden resumirse en los siguientes aspectos: a) efectos erosivos, es decir, la eliminación de los elementos bióticos o abióticos que son deseables al medio; b) contaminación o adición de componentes extraños en cantidades tales que alteran el equilibrio natural, principalmente en el agua; y c) violación de la calidad estética y alteraciones profundas en la estructura y composición del medio natural.

Para la evaluación de estos impactos, es necesario recurrir a una visión conjunta de los diferentes componentes del medio y de sus interacciones a mayor y menor escala, que faciliten de alguna forma la definición de estrategias de conservación del ambiente.

Con base en ello, el presente artículo plantea como principio básico la integración de los diferentes componentes del medio que permita, por una parte, obtener una valoración conjunta de los elementos, y por otra, determinar la capacidad de carga de los sectores delimitados ante los diferentes usos del suelo, del agua y de la ve-

getación en la zona de influencia de la presa Abelardo L. Rodríguez (ALR). Asimismo, que permita establecer una política específica de protección y restauración en esta fuente de agua potable.

En la actualidad, la cuenca del río Sonora, conjuntamente con sus afluentes el río San Miguel y el río Zanjón, y en particular, la presa Abelardo L. Rodríguez, enfrenta un intensivo proceso de utilización que va en deterioro de la calidad de sus aguas, limitando y restringiendo, de esta forma, su uso. Es por ello que se hace necesario establecer criterios que definan su protección y máximo aprovechamiento, con el objeto de armonizar el crecimiento de las actividades económicas y la conservación del medio natural. Medio del cual depende la población más importante del estado para su abastecimiento de agua potable y que en el presente es el asiento de aproximadamente medio millón de habitantes.

Por tal razón, los objetivos de este trabajo son:

- a) Realizar un reconocimiento general de las actividades que se llevan a cabo en la zona de influencia de la presa que de una manera u otra están afectando y limitan el uso del agua o constituyen un elemento contaminante para la misma.
- b) Realizar un reconocimiento general de las actividades que se

efectúan en los alrededores del vaso de la presa, destacando su comportamiento y uso del agua, así como la influencia que tienen los asentamientos humanos en dicho embalse.

- c) Identificar la problemática de la zona de influencia de la presa ALR a través de un diagnóstico, que incluya las industrias del área, los asentamientos humanos y las actividades primarias.
- d) Identificar a través de un diagnóstico la problemática del agua de la presa, destacando su calidad para los diferentes usos.
- e) Obtener los aspectos o actividades que ejercen los efectos más negativos en el deterioro de la calidad del agua y establecer los niveles requeridos de calidad.
- f) Plantear los programas o acciones específicas que deben llevarse a cabo, así como su ubicación y ámbito, en orden de prioridad.

### Descripción de la zona de influencia de la Presa Abelardo Rodríguez

El río Sonora se encuentra localizado en el estado de Sonora, México, entre las coordenadas 29° y 31° de latitud norte y 110° y 111° de longitud oeste. Por la extensión (26,010 km<sup>2</sup>) y magnitud de aportaciones, su cuenca ocupa el segun-

do lugar en la región hidrológica número 9 y en la entidad (Figura 1). La topografía de la cuenca es de forma irregular y accidentada en su parte media y alta, característica de las zonas montañosas en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental. En la parte baja, es ondulada con planicies de relativa extensión hasta llegar al embalse de la presa ALR.

Su parte alta es rica en yacimientos de minerales y la principal explotación se localiza cerca de su origen en la ciudad de Cananea, donde se extrae principalmente cobre.

A la altura de la presa ALR, se le une por la margen derecha su afluente de mayor extensión, el río San Miguel, cuya cuenca abarca un área de 8,427 km<sup>2</sup> que representa el 40% del área drenada hasta la presa. Esta tiene sus orígenes en el parteaguas con el arroyo Cocóspera, y en la Sierra Sur, a una elevación de 1,200 metros sobre el nivel del mar; su curso general es hacia el sur, recibiendo por su margen derecha al río Zanjón, 22 km antes de su confluencia con el río Sonora y la presa ALR. El embalse de la presa está situado entre las elevaciones 204 y 240 metros sobre el nivel del mar.

En su transcurso, desde su nacimiento hasta su desembocadura en la presa, las aguas son utilizadas en el desarrollo propio de las diversas localidades ubicadas en las

Figura 1

### División Hidrológica del Estado de Sonora



Fuente: Estudio hidrológico del Estado de Sonora. INEGI-Gobierno del Estado de Sonora, 1993

márgenes; por un lado, como fuente de abastecimiento para las actividades pecuarias y agrícolas, y por otro, como fuente de abastecimiento de agua potable para la población.

### **Delimitación del área de estudio**

Los límites del área de estudio son los siguientes: al poniente, la cortina de la presa ALR que delimita una zona arbolada conocida como La Saucedá. Al norte, una zona poblada de la ciudad conocida como Las Amapolas y La Metálera, prácticamente contiguas al agua, y la estación Hermosillo del FF.CC. del Pacífico. Esta zona tiene una pendiente hacia el embalse y se encuentra delimitada por la Sierra del Bachoco; en ella se ubican industrias importantes como: Café del Pacífico, Aceites y Derivados, granjas porcícolas y poblados como: La Victoria, Tazajal y San Pedro el Saucito.

Hacia el este, el límite es una subcuenca del río Sonora (RH9a). Casi en el centro de ella se ubica el poblado del Molino de Camou y la estación hidrométrica de El Orégano (SARH); en las inmediaciones se encuentra la presa de El Molinito. De aquí se traza un transecto hacia el poblado de la Mesa del Seri situado exactamente en la parte este de la presa. Al oeste, el lími-

te es la zona industrial; ésta incluye el parque industrial, Cementos del Yaqui y Cementos Portland hacia el este, y el Cerro de la Cementera colindante con la cortina de la presa ALR hacia el oeste. La zona de estudio tiene una isoterma anual de 24°C y una isoyeta anual cercana a los 300 mm., un coeficiente de escurrimiento de 5 a 10%, y está constituido de material consolidado con altas posibilidades geohidrológicas.

### **La Presa Abelardo L. Rodríguez**

Esta presa se localiza a los 29° 04'15" latitud norte y 110° 55'10" longitud oeste del meridiano de Greenwich. Se sitúa al oriente de la ciudad de Hermosillo a una altitud de 234 metros sobre el nivel del mar. Esta obra fue construida sobre el cauce colector del río Sonora, ligeramente aguas abajo de la confluencia con el río San Miguel, en el periodo de los años 1945-1948 por la Secretaría de Recursos Hidráulicos a través de la Comisión de Irrigación. Actualmente, es operada por el Gobierno del Estado de Sonora, que tiene reservado el embalse para el suministro de agua potable a la ciudad de Hermosillo, previo tratamiento de potabilización. Sólo en caso de tener excedentes, se asigna agua para el riego agrícola.

El área de captación de la presa es de 21,03 km<sup>2</sup> y comprende 3 subcuencas: la del río Sonora con una superficie de 12,106 km<sup>2</sup>, la del río San Miguel con 4,648 km<sup>2</sup> y la del río Zanjón con 4,281 km<sup>2</sup>. La superficie del embalse correspondiente al nivel de agua máximo extraordinario es de 5,420 ha y un área normal de 4,063 ha, a 225.8 metros sobre el nivel del mar.

### **Comportamiento hidráulico del embalse**

De la precipitación anual ocurrida en la cuenca del río Sonora sólo una mínima parte escurre hasta la presa. De acuerdo a estimaciones realizadas, se considera que este escurrimiento fluctúa entre el 2% y 10% del volumen anual total precipitado.

La precipitación media anual sobre el vaso es de 303.95 mm, correspondiendo un 68% a los meses de julio, agosto y septiembre, y un 18% a los meses de diciembre, enero y febrero. Al igual que las aportaciones, el historial de lluvias tiene una variación muy alta que va desde un máximo de 189 mm y un mínimo de 0.0 mm. Las precipitaciones anuales varían desde un máximo de 496.1 mm, hasta un mínimo de 113.7 mm.

La cortina de la presa es de tipo flotante construida a base de materiales graduados que van desde

arcilla en el núcleo, hasta enrocamiento en la parte exterior. Fue diseñada para una avenida máxima probable de 10,000 m<sup>3</sup>/seg. La altura máxima de la cortina desde el lecho del río es de 20 m. La elevación de la corona es de 231.6 metros sobre el nivel del mar, su longitud es de 1,411 m y su ancho de 10 m. La capacidad original de la presa fue alterada mediante la instalación de agujas en el vertedor, cuya longitud de cresta es de 312 m para un gasto de diseño de 2,735 m<sup>3</sup>/seg con carga de 3 m. La capacidad de azolve de esta presa es de 40,000,000 de m<sup>3</sup> y el gasto de la toma es de 15 m<sup>3</sup>/seg. La capacidad sin agujas es de 253,549,000 m<sup>3</sup>; con agujas es de 287,561,000 m<sup>3</sup>. La capacidad útil es de 213,549,000 m<sup>3</sup>. La carga sobre el vertedor es de 3 m y el bordo libre adicional de 2.8 m.

### **Usos del embalse y de la presa**

El proyecto inicial contempló el desarrollo integral agropecuario e industrial de la región. Este incluyó la construcción de un embalse de 250,000,000 m<sup>3</sup> para la irrigación de 10,000 a 20,000 hectáreas de cultivo, así como para el suministro de agua a la ciudad de Hermosillo a través de pozos localizados aguas abajo de la cortina de la presa.

Ante el acelerado crecimiento demográfico de la ciudad y el incremento de su demanda de agua, se consideró necesario destinar el agua almacenada de la presa como fuente adicional de abastecimiento de líquido que se aprovecha por medio de plantas potabilizadoras. De esta forma, en 1981 entró en funcionamiento la primera planta con una capacidad inicial de 300 l/seg; posteriormente, en 1982 inició operaciones la segunda planta con una capacidad de tratamiento similar a la primera. Después, estas plantas lograron incrementar su producción de 600 l/seg a 1200 l/seg (600 l/seg cada una) con lo que se cubrían las necesidades de abastecimiento de agua potable para Hermosillo.

Sin embargo, el marcado crecimiento poblacional de la capital a partir de 1985, motivado por el acelerado crecimiento industrial, obligó a las autoridades a realizar acciones a corto plazo para garantizar el abasto de agua. En 1986, se inició la construcción de 11 pozos profundos en el área conocida como La Victoria para la extracción de 1000 l/seg (actualmente se extraen 70 l/seg por pozo). Para 1987 la dotación se incrementó a 3650 l/seg al entrar en operación los pozos de la Saucedá. Desde entonces, el volumen de abastecimiento de agua a la ciudad se mantiene alrededor de esa cifra.

A raíz de esta problemática y debido al conflicto de intereses en relación al uso del agua almacenada en la presa, sobre todo en lo concerniente a su utilización para su consumo doméstico y uso agrícola, la delegación estatal de la SARH con la colaboración del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, elaboró un estudio para la definición de una política de extracción anual de agua de la presa. Su objetivo fue garantizar el suministro de agua para la ciudad, y cuando existieran volúmenes almacenados en exceso a la demanda urbana, disponer de agua para el riego de cultivos agrícolas.

Debido a que no se consideró el problema de la calidad del agua, que se presenta en especial cuando los niveles en la presa son bajos, se propuso establecer un volumen muerto de 20,000,000 de m<sup>3</sup> para la presa, basado en los estudios batimétricos elaborados en 1982 por dicha dependencia.

De los resultados obtenidos, se dedujo que sólo se puede asignar agua para riego agrícola si, en la presa, existe un volumen almacenado mayor de 160,000,000 de m<sup>3</sup>. Así, la extracción para uso agrícola se mantiene constante en 50,000,000 m<sup>3</sup>, con el propósito de asegurar el abastecimiento de agua potable con 110,000,000 m<sup>3</sup>.

## Problemática de la Presa Abelardo L. Rodríguez

1) De acuerdo al censo realizado de las industrias ubicadas en la zona de influencia de la presa (con excepción del parque industrial) se identificaron un total de 90 establecimientos, de los cuales una parte está involucrada en la contaminación de las aguas del embalse. 40 corresponden a granjas porcícolas y corrales de engorda y 50 corresponden al ramo industrial (18 son de giro alimenticio, 25 de giro industrial y 7 de servicios).

Del total de industrias correspondientes a este último ramo, el 69% genera una descarga de tipo orgánico con gastos que varían desde 0.5 hasta 10 l/seg. Estos generalmente son desechos con materiales flotantes presentes y con altos contenidos de grasas y aceites en relación a los parámetros máximos permisibles; comúnmente son desechos de color oscuro, café oscuro o rojizo.

El 19.3% genera descargas inorgánicas, cuyo origen son las industrias no alimenticias o industrias en general; estas descargas por lo regular son altas en concentraciones de sólidos sedimentables y variaciones marcadas en pH. El 11.7% restante genera descargas tóxicas cuyas características por lo ge-

neral se han encontrado fuera de las normas establecidas, sobre todo en lo que corresponde al contenido de grasas y aceites y metales pesados.

De las 50 industrias correspondientes a este sector, aproximadamente el 65%, tiene un seguimiento continuo de inspección por parte de la SEDESOL. 7 de ellas construyeron lagunas de retención de aguas residuales como medida provisional para el control de la contaminación del agua, 14 se conectaron a los colectores y al alcantarillado municipal, 3 construyeron fosas sépticas, 2 reciclan sus aguas, y el resto presumiblemente continúa descargando sus aguas residuales al vaso de la presa. En el caso de las industrias que construyeron lagunas de retención como medida provisional, 4 de ellas establecieron celdas desedimentación y separadores de grasas y sólidos para posteriormente conectarse a los colectores. En el caso de las empresas que reutilizan el agua, una de ellas instaló una celda desarenadora y una desengrasadora con cuyas aguas se riegan praderas artificiales, y la otra riega árboles frutales después de que las aguas pasan por la laguna de retención.

2) Las granjas porcícolas constituyen uno de los ramos con más

actividad entre las empresas establecidas en el área de influencia de la presa. Gran parte se localiza en el sureste del vaso a distancias que varían de 800 m a 5 km. Otra parte de las granjas se localiza en el noroeste de la presa a distancias más alejadas de ésta: entre 8 y 12 km; sin embargo, se ubican a sólo 1.5 km del río San Miguel, por lo que estos establecimientos son focos contaminantes en alta proporción, aún y cuando la mayoría cuentan con lagunas de retención.

En general, las granjas porcícolas situadas en los alrededores de la presa son focos contaminantes debido a que las lagunas de oxidación no son suficientes para tratar la gran cantidad de desechos que de ahí emanan. Además, estas lagunas han operado más bien como sistemas de retención presentándose infiltraciones hacia los arroyos que van a dar a la presa. En conjunto, las granjas tienen un consumo aproximado de 260,000 m<sup>3</sup> de agua por año, estimándose que el 40% de este volumen de una forma u otra va a dar al vaso de la presa.

- 3) La mayoría de los corrales de engorda se ubican en las partes sureste y suroeste del vaso de la presa. Su capacidad total es de 55,000 cabezas de ganado, sin

embargo, en los últimos años estos corrales han operado a bajas capacidades debido a que gran parte del ganado se ha colocado en el mercado de exportación directamente del agostadero y a que algunos corrales han abandonado sus instalaciones de la presa. Por otro lado, aunque existe una importante actividad ganadera en la parte norte de la presa hacia la desembocadura de los ríos, no se observa una contaminación significativa debido a que este ganado se encuentra muy disperso en toda la región.

Los corrales de engorda desechan 54,750 ton anuales de excremento y 73,000 m<sup>3</sup> de orina. Este volumen aunado a un consumo anual de agua de 43,800 m<sup>3</sup> genera un total de 116,800 m<sup>3</sup>. De este volumen total, entre 35-40% se pierde por evaporación y filtración, y entre 65-70% va a las aguas de la presa. A estos desechos hay que agregar los provenientes de los rastros localizados en los límites del vaso cuyo consumo total anual de agua destinada a la limpieza, servicios sanitarios y para el área de estancia de los animales que van a ser sacrificados, es del orden de 182,500 m<sup>3</sup>. De este total, el 70% se canaliza por los arroyos que desembocan en la presa.

Las descargas de estas industrias son de tipo orgánico, apor-

tando a la presa gran cantidad de coliformes fecales, materia orgánica, grasas y aceites, así como también nitrógeno orgánico y fósforo.

Del total de las granjas porcícolas, 13 construyeron lagunas de retención de aguas residuales y 11 no tienen registro de inspección. Algunas de las granjas que construyeron lagunas de retención impermeabilizada construyeron conjuntamente separadores de sólidos, con cuyas aguas riegan praderas artificiales y árboles frutales.

- 4) La problemática de contaminación por metales pesados es menos grave. Aún así, los niveles que se han presentado en años pasados, muestran claramente los efectos que han tenido los arrastres del río Sonora hacia el embalse. Los valores encontrados se consideran altos si se toma en cuenta que se puede afectar la calidad del agua embalsada cuando se presentan alteraciones en el equilibrio existente en la frontera fondo-agua ocasionadas por cambios en los niveles de oxígeno, pH, temperatura y grado de turbulencia. Los desechos que actualmente generan la totalidad de las industrias ubicadas en el área de influencia de la presa, no han sido cuantificados plenamente. No obstante, se estima que

producen un volumen de más de 700,000 m<sup>3</sup> al año, mismo que se ha ido reduciendo paulatinamente al conectarse gran número de los establecimientos al colector El Papalote construido a un lado del parque industrial. Este colector se conecta a su vez con el colector sur de la ciudad a través del cárcamo de rebombeo. Como este último enfrenta continuos problemas de operación, en ocasiones las derramas de este subsistema escurren a la presa a través de los arroyos.

- 5) La población en el municipio de Hermosillo en 1970 era de 208,164 habitantes, hacia 1980 ascendió a 367,201, y actualmente se estima una población cercana a los 600,000 habitantes (1993). La densidad de población estimada en el municipio es de 40 hab/km<sup>2</sup>.

La población que afecta la calidad de agua de la presa está ubicada en el noreste de la ciudad y en la parte norte de la presa. Al igual que el municipio de Hermosillo, las colonias ubicadas en el área de influencia de la presa han mantenido un crecimiento constante, al mostrar una tasa de incremento anual de aproximadamente 5%. Las colonias Irrigación, Las Amapolas, La Metalera y Bella Vista, tienen una población

aproximada de 18,000 habitantes, cuyas aguas residuales son descargadas directamente al vaso de la presa. Si se estima un consumo de 200 litros de agua por habitante al día, los volúmenes estimados de descargas domiciliarias son del orden de 3600 m<sup>3</sup>/día. De este total, 2000 m<sup>3</sup>/día son captados por el sistema de colectores de la parte norte de la presa quedando sin control los restantes que van hacia el vaso de la presa (1600 m<sup>3</sup> diarios).

6) Una parte de los sedimentos del embalse provenientes de la cuenca alta y media de los ríos Sonora y San Miguel, así como de sus afluentes, están constituidos por partículas de suelo que han sido desprendidas y transportadas por los arrastres de lluvia y viento de los diferentes puntos de la cuenca y, en los últimos años, del parque industrial de la ciudad ubicado en la parte sur del vaso de la presa. Estos arrastres son difíciles de identificar y cuantificar, sobre todo, sin haber realizado estudios lo suficientemente extensos y profundos que permitan caracterizar su origen.

7) La agricultura en las inmediaciones de la presa se lleva a cabo en las partes norte y este ocupando una superficie bajo

riego de 12,240 hectáreas, mismas que requieren de un gasto aproximado de 127,000 millones de m<sup>3</sup> de agua al año. Los cultivos programados en el ciclo otoño-invierno tienen mayor cobertura que los del ciclo primavera-verano.

Para el control de plagas en estos cultivos se usan los agroquímicos más comunes recomendados para estas regiones, sin embargo, en análisis realizados a muestras de agua de la presa no se han detectado niveles que hagan suponer que existe contaminación, lo cual no quiere decir que no exista la posibilidad de que suceda.

8) Tanto en las cuencas de los ríos que desembocan en la presa, como en su propio embalse, no se reconocen ni a la pesca ni a la acuicultura como actividades económicas o deportivas relevantes. Su importancia radica en que en los ambientes acuáticos pueden existir organismos bioindicadores de contaminación o alteraciones en la calidad del agua que pueden afectar su tratabilidad.

### Usos y destinos del agua

La Ley Federal de Aguas establece que para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas

propiedad de la nación, que incluye las del subsuelo, se debe observar el siguiente ordenamiento de importancia: 1) Usos domésticos, 2) Servicios públicos urbanos, 3) Abrevadero de ganado, 4) Riego de terrenos (ciudades y comunidades; de la propiedad privada), 5) Industrias (generación de energía eléctrica para servicio público; otras industrias), 6) Acuicultura, 7) Generación de energía eléctrica para servicio privado, 8) Lavado y entarquinamiento de terrenos, 9) Otros.

Bajo estos planteamientos y dadas las condiciones del agua que llega a la presa Abelardo L. Rodríguez, se deberán mantener ciertas características que puedan considerarse aptas para estos usos, en ese orden de importancia. Es decir, es primordial conservar el embalse como fuente de abastecimiento de agua potable.

### Calidad del agua

Ante la magnitud del problema expuesto en la presa ALR, el CICTUS estableció una red de monitoreo en la zona a partir de 1991. Su finalidad fue conocer las condiciones de calidad de las aguas del embalse y lograr detectar de esta forma, a través de un programa de monitoreo periódico y sistemático, los cambios en la calidad del agua ocasionados por las diferentes

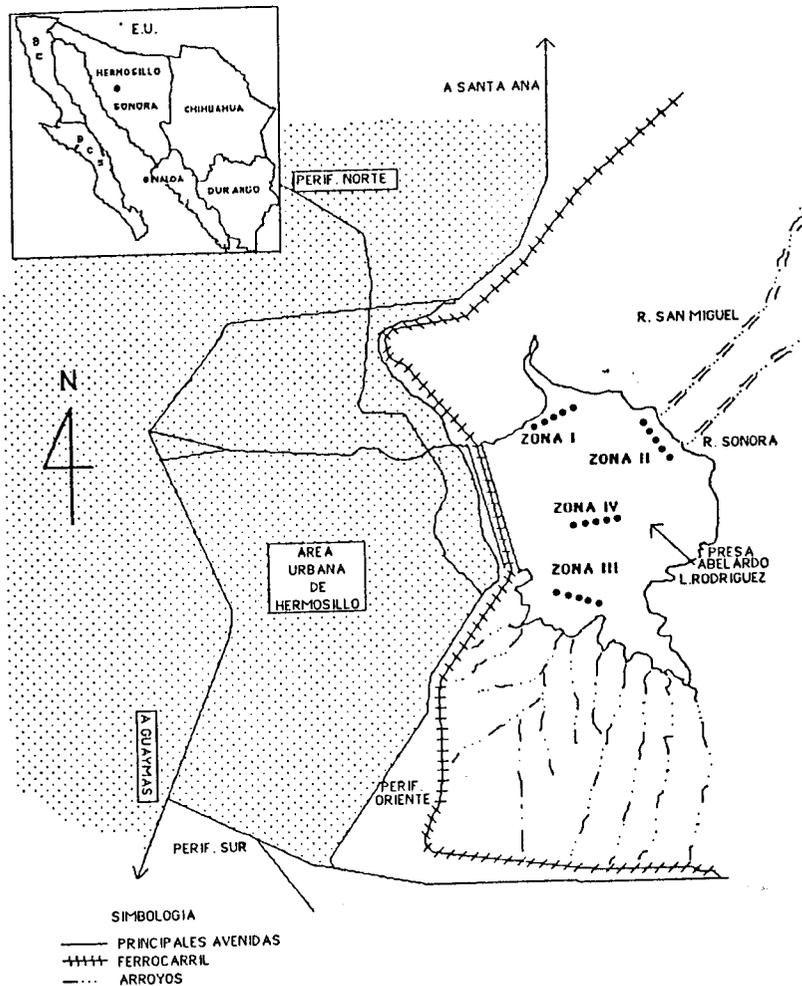
descargas y vertimientos tanto de las aguas residuales de las industrias aledañas, como de los escurremientos de los ríos Sonora y San Miguel y sus afluentes.

La realización de un programa de monitoreo sistemático ha sido particularmente difícil de llevarlo a cabo dadas las limitaciones de infraestructura que se tienen. Debido a lo anterior, los análisis realizados hasta la fecha han permitido únicamente tener un panorama muy general del comportamiento del embalse y las condiciones de calidad en las que se encuentran sus aguas. Por ello, las observaciones hechas sobre el particular son preliminares y están sujetas a la realización sistemática de muestreos posteriores, donde se tendrá que considerar la participación de las diversas dependencias federales, estatales y educativas, para conformar un sistema efectivo tanto de detección como de diagnóstico.

A pesar de esto, es posible apreciar claramente en la mayoría de los análisis realizados, que los niveles de algunos de los parámetros considerados están excedidos en los diferentes puntos del embalse. Lo cual se refleja también en las muestras de agua colectadas a la entrada y salida de las plantas potabilizadoras I y II, y probablemente se manifieste en algunos puntos de la red de distribución de la ciudad de Hermosillo.

Figura 2

Distribución de las zonas de muestreo en la presa  
Abelardo L. Rodríguez



El análisis del presente trabajo consideró 4 zonas de muestreo para la presa ALR, cuya ubicación se muestra en la figura 2. La zona I abarcó principalmente las descargas urbanas, la II el desembocaje de los ríos Sonora y San Miguel, la III la zona industrial, y la IV fue una zona de control de resultados de transición (ubicada entre las tres zonas anteriores). Para la presa El Molinito se consideraron también cuatro zonas de muestreo: dos en la porción representativa de la desembocadura del río Sonora y otras dos en las partes más internas de la presa (figura 3).

Para este análisis se llevó a cabo la determinación de los siguientes parámetros fisicoquímicos: potencial de hidrógeno (pH), temperatura, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y demanda bioquímica de oxígeno, a dos diferentes profundidades (1 m y 4 m, consideradas como superficial y de fondo respectivamente), en el agua de las presas Abelardo L. Rodríguez y El Molinito.

Asimismo, se realizó la determinación de metales pesados (cadmio, cobalto, cromo, cobre, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc), en las mismas profundidades y presas mencionadas con anterioridad.

El muestreo en la presa ALR se efectuó en el mes de enero de 1992. El muestreo en la presa El Molinito en el mes de septiembre del mismo

año. Los resultados se muestran en las tablas 1,2,3 y 4.

La diferencia tan marcada en los valores de temperatura en ambos cuerpos receptores de agua, se debe a que los resultados en la presa ALR corresponden a la estación de invierno, mientras que los resultados en la presa El Molinito corresponden a un poco después del final de la época de verano.

En cuanto a metales totales, la presa El Molinito no presenta concentraciones de cadmio, cobalto, cromo y níquel, tanto en superficie como en profundidad. El cobre presenta concentraciones similares en las cuatro estaciones de muestreo, con un rango de 0.006 a 0.008 mg/l tanto en superficie como en profundidad. Por lo que toca a los metales hierro, manganeso, plomo y zinc, éstos presentan concentraciones un poco más altas en superficie, principalmente en las estaciones I y II, mientras que en las estaciones III y IV son menores.

En la presa ALR, no se observan concentraciones de cadmio y plomo. Los metales cobalto, cromo, níquel, cobre, hierro y manganeso, se encuentran en concentraciones más altas que en la presa El Molinito. Sin embargo, las concentraciones de plomo son más altas en la presa El Molinito.

Figura 3

Distribución de las zonas de muestreo en la presa El Molinito

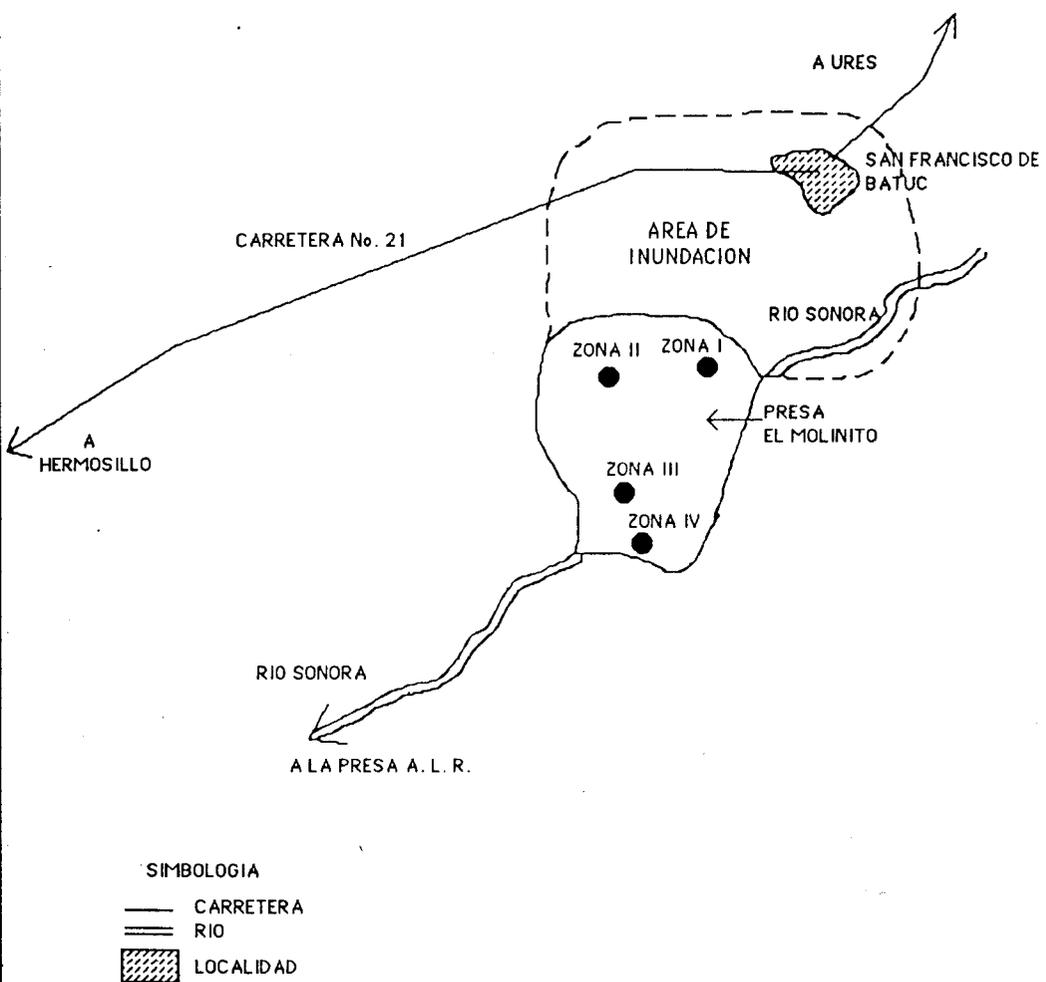


Tabla 1

Parámetros fisicoquímicos\* en el agua de la presa El Molinito, correspondiente al mes de septiembre de 1992

ZONA	pH	TEMP. °C	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (mhos/cm)	SOLIDOS SUSPENDIDOS mg/l	OXIGENO DISUELTO mg/l	DBO5 mg/l
IS	8.06	32	500	9.2	8.12	5.28
IP	7.16	29	450	16.0	1.22	2.65
IIS	8.09	33	475	10.4	8.12	3.24
IIP	7.30	29	450	16.4	1.62	1.21
IIIS	8.33	32	400	14.4	8.00	4.06
IIIP	7.34	28	400	17.2	2.03	4.06
IVS	8.34	32	400	14.8	8.12	6.09
IVP	7.40	29	400	12.0	2.43	2.85

(\*) = Valor promedio de 5 estaciones de muestreo por zona.

S = Superficial (1m)

P = Profundidad (4m)

Tabla 2

Parámetros fisicoquímicos\* en el agua de la presa Abelardo L. Rodríguez, correspondiente al mes de enero de 1992

ZONA	pH	TEMP. °C	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (mhos/cm)	SOLIDOS SUSPENDIDOS mg/l	OXIGENO DISUELTO mg/l	DBO5 mg/l
IS	7.03	16	675	94.0	8.19	1.36
IP	7.00	16	650	89.5	8.75	0.59
IIS	7.00	15	650	58.3	8.44	1.93
IIP	6.89	15	650	59.0	8.22	1.74
IIIS	6.96	16	650	65.0	8.75	2.23
IIIP	6.99	15	650	73.3	8.6	2.71
IVS	7.02	16	650	65.8	8.52	1.93
IVP	7.02	15	650	15.0	7.52	1.93

(\*) = Valor promedio de 5 estaciones de muestreo por zona.

S = Superficial (1m)

P = Profundidad (4m)

Tabla 3  
Concentración de metales pesados\* en mg/l, en el agua de la presa El Molinito, correspondiente al mes de septiembre de 1992

ZONA	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
IS	Nd	Nd	Nd	0.006	0.002	0.028	Nd	0.016	0.02
IP	Nd	Nd	Nd	0.006	0.106	0.022	Nd	0.016	0.002
IIS	Nd	Nd	Nd	0.006	0.004	0.024	Nd	0.016	0.004
IIP	Nd	Nd	Nd	0.008	0.118	0.022	Nd	0.014	0.002
IIIS	Nd	Nd	Nd	0.006	0.034	0.01	Nd	0.006	0.02
IIIP	Nd	Nd	Nd	0.008	0.16	0.02	Nd	0.006	0.018
IVS	Nd	Nd	Nd	0.008	0.024	0.006	Nd	0.008	Nd
IVP	Nd	Nd	Nd	0.008	0.084	0.018	Nd	0.012	0.018

(\*) = Valor promedio de 5 estaciones de muestreo por zona.

S = Superficial (1m)

P = Profundidad (4m)

Nd = No detectable

Tabla 4  
Concentración de metales pesados\* en mg/l, en el agua de la presa Abelardo L. Rodríguez, correspondiente al mes de enero de 1992

ZONA	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
IS	Nd	0.003	0.004	0.007	3.62	0.073	0.021	Nd	0.034
IP	Nd	0.005	0.003	0.013	3.723	0.088	0.014	Nd	0.030
IIS	Nd	0.003	0.001	0.010	2.13	0.043	0.017	Nd	0.037
IIP	Nd	0.005	Nd	0.010	2.18	0.043	0.015	Nd	0.038
IIIS	Nd	0.003	0.001	0.011	2.36	0.047	0.013	0.001	0.017
IIIP	Nd	0.004	0.003	0.01	2.77	0.057	0.013	Nd	0.019
IVS	Nd	0.007	Nd	0.008	2.36	0.048	0.014	Nd	0.014
IVP	Nd	0.066	0.004	0.008	2.40	0.048	0.014	0.001	0.014

(\*) = Valor promedio de 5 estaciones de muestreo por zona.

S = Superficial (1m)

P = Profundidad (4m)

Con la finalidad primordial de caracterizar la calidad del agua de la presa El Molinito y la presa ALR, se compararon las concentraciones obtenidas tanto de los parámetros fisicoquímicos como de metales pesados, con las concentraciones establecidas en los criterios ecológicos de calidad del agua para diferentes usos (tabla 5).

Por otro lado, a la entrada de ambas potabilizadoras la calidad del agua presentó problemas de grasas y aceites, sólidos, coliformes fecales y metales pesados (cadmio y plomo en la potabilizadora II). En el agua de salida de las plantas potabilizadoras, se encontraron excedidos los niveles de coliformes fecales, grasas y aceites, así como los metales pesados hierro y cadmio.

Estos resultados presentaron anomalías e irregularidades tanto en la calidad del agua de la fuente de abastecimiento a las plantas potabilizadoras, como en la calidad del agua para consumo humano.

#### Actividades pesqueras y acuícolas

Además de lo relevante que es determinar la calidad de agua de la presas Abelardo L. Rodríguez y El Molinito, también es relevante conocer de manera general las causas que ocasionan la mortandad de peces que habitan estos lugares.

Debido a que estas especies son capaces de concentrar algunos contaminantes, entre ellos los metales pesados, las mismas son utilizadas en los estudios como monitores biológicos de la zona. Por ello en este estudio igualmente se determinaron los niveles de metales pesados y algunos aspectos generales sobre la condición física de la tilapia (*Oreochromis mossambicus*) en ambas presas.

Los peces fueron capturados en los dos cuerpos de agua, empleando una red agallera de 8.89 cm aproximadamente y 10 cm de luz de malla. Se guardaron en hielo y se transportaron inmediatamente al laboratorio para los análisis correspondientes.

Hasta la fecha, de acuerdo con los resultados no se ha encontrado ningún parásito macroscópico interno o externo, y en general, la salud de los peces tilapia se encuentra en buen estado. En general, se observó que la concentración de metales pesados en los peces fue en el siguiente orden:

Hígado >> Branquias >> Músculo

Tabla 5

Comparación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en mg/l detectados en las presas Abelardo Rodríguez y El Molinito, con respecto a los criterios ecológicos de calidad del agua (SEDUE, 1989)

PARAMETRO	ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	RECREATIVO* E INDUSTRIAL	RIEGO AGRICOLA	PECUARIO
Potencial de hidrógeno (pH)	5-9	6-9	4.5-9.0	---
Temperatura oC	CN+2.5	CN+2.5	---	---
Oxígeno Disuelto (Límite mínimo)	4.0	4.0	---	---
Sólidos Suspendidos	500	---	50.0	---
Conductividad eléctrica (mhos/cm)	---	---	---	---
Cadmio	0.01	0.01	0.01	0.02
Cromo hexavalente	0.05	0.1	1.0	1.00
Cobre	1.0	0.1	0.1	0.5
Hierro	0.3	---	5.0	---
Manganeso	0.1	---	---	---
Niquel	0.01	---	0.2	1.0
Plomo	0.05	0.1	5.0	0.1
Zinc	5.0	---	2.0	50.0

\* Secretaría de Recursos Hidráulicos (1973).  
CN = Condiciones Naturales

Tabla 5

Comparación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en mg/l detectados en las presas Abelardo Rodríguez y El Molinito, con respecto a los criterios ecológicos de calidad del agua (SEDUE, 1989)

(Continuación)

PARAMETRO	P R E S A A.L.R.*		PRESA MOLINITO*	
	SUPERFICIE (1m)	PROFUNDIDAD (4m)	SUPERFICIE (1m)	PROFUNDIDAD (4m)
Potencial de hidrógeno (pH)	6.99-7.03	6.89-7.02	8.06-8.34	7.16-7.40
Temperatura oC	15-16	15-16	32-33	28-29
Oxígeno Disuelto (Límite mínimo)	8.44-8.91	7.52-8.75	8.0-8.12	1.22-2.43
Sólidos Suspendidos	58.3-94.0	59.0-89.5	9.2-14.8	12.0-17.2
Conductividad eléctrica (mhos/cm)	650.675	650-650	400-500	400-500
Cadmio	Nd	Nd	Nd	Nd
Cromo hexavalente	Nd-0.004	Nd-0.004	Nd	Nd
Cobre	0.007-0.011	0.008-0.013	0.006-0.008	0.006-0.008
Hierro	2.13-3.62	2.18-3.72	0.002-0.034	0.084-0.16
Manganeso	0.043-0.073	0.043-0.088	0.006-0.028	0.018-0.022
Niquel	0.013-0.021	0.13-0.015	Nd	Nd
Plomo	Nd-0.001	Nd	0.006-0.016	0.006-0.016
Zinc	0.014-0.037	0.014-0.038	Nd-0.02	0.002-0.018

\* Concentraciones mínimas y máximas  
CN = Condiciones Naturales  
Nd = No determinado

Tabla 6

Promedio y desviación estandar del contenido de metales pesados en mgr/gr en tilapia (*oreochromis mossambicus*), correspondiente al mes de enero de 1992, presa Abelardo L. Rodríguez

ELEMENTO	BRANQUIA	HIGADO	MUSCULO
Cu	3.74 ± 0.22	476.36 ± 74.11	1.10 ± 0.12
Ni	7.55 ± 0.53	2.10 ± 1.51	2.32 ± 1.90
Co	6.38 ± 0.96	11.58 ± 1.87	0.75 ± 0.67
Mn	16.74 ± 0.34	9.58 ± 2.37	1.05 ± 0.37
Zn	81.59 ± 2.52	104.65 ± 11.98	17.81 ± 6.09
Cd	0.70 ± 0.10	1.21 ± 0.22	Nd
Cr	2.49 ± 0.54	1.19 ± 1.09	Nd
Fe	266.98 ± 58.45	2885.63 ± 1127.09	33.63 ± 11.07
Pb	27.41 ± 0.03	Nd	Nd

Nd = No detectable

Tabla 7

Promedio y desviación estandar del contenido de metales pesados en mgr/gr en tilapia (*oreochromis mossambicus*), correspondiente al mes de septiembre de 1992, presa Abelardo L. Rodríguez

ELEMENTO	BRANQUIA	HIGADO	MUSCULO
Cu	3.63 ± 0.40	336.41 ± 46.0	0.88 ± 0.19
Ni	3.30 ± 0.48	1.03 ± 0.68	0.60 ± 0.51
Co	3.45 ± 0.58	3.86 ± 0.85	0.65 ± 0.30
Mn	37.50 ± 4.43	8.80 ± 3.62	0.75 ± 0.22
Zn	75.85 ± 5.31	90.09 ± 7.38	16.50 ± 2.22
Cd	0.75 ± 0.16	0.87 ± 0.34	0.30 ± 0.10
Cr	3.15 ± 0.20	0.09 ± 0.18	0.25 ± 0.16
Fe	337.30 ± 37.42	414.64 ± 84.08	9.40 ± 7.17
Pb	13.25 ± 0.90	8.68 ± 2.66	3.60 ± 0.16

Nd = No detectable

En los resultados obtenidos, se pudo observar que de acuerdo a las medidas promedios para elementos "traza" en peces de agua dulce, el zinc sobrepasó el límite establecido en branquias e hígado en ambas presas, y el plomo en músculo sólo en El Molinito. Esto implica que hasta el momento no es perjudicial para la población, ya que ésta únicamente consume el filete (músculo) del pez tilapia.

Los metales zinc, cobre, fierro y cadmio encontrados en el hígado, fueron considerablemente más altos que en branquias y músculo en relación a las medidas estándares. Esto se explica porque el hígado concentra estos metales en la sangre dentro del sistema circulatorio. El fierro, normalmente está presente en la sangre del pez como una parte de la hemoglobina; además el hígado contiene una mayor cantidad de vasos sanguíneos que otras partes del cuerpo.

Tovell *et al.*, (1975) menciona que los metales pesados del medio ambiente entran principalmente al pez por el sistema respiratorio. El mecanismo de captación por medio de las branquias ocurre a través de los poros por simple difusión (Bryan 1979). Así, los metales pesados son absorbidos mediante las membranas celulares. Por tal motivo, algunas veces hay mayor concentración de metales pesados en las branquias. Cairns *et al.*, (1981) menciona que si se cambian los

factores ambientales, se afecta el intercambio de gas en la respiración, así como en el comportamiento de la ventilación en las branquias del pez, lo cual puede ser usado como un indicador de "stress subletal".

En la presa El Molinito, se encontró en el músculo de tilapia concentración de plomo un poco más arriba de lo normalmente establecido. También en el sedimento de esta presa se encontró plomo, no así en la presa ALR. Esto puede deberse a que hubo deslaves y escurrimientos aguas arriba, cerca de las actividades mineras, concentrándose este metal en la presa debido a las precipitaciones extraordinarias del huracán "Lester". Como la tilapia es un organismo omnívoro (Bowen 1982), es posible que haya ingerido una mayor cantidad de *detritus* incorporándolos a su dieta.

Al igual que los otros metales, el plomo es altamente nocivo, debido a que interviene en los procesos de respiración. Este agente químico ejerce su acción tóxica inhibiendo las enzimas necesarias para la síntesis del grupo hemo (Fernicola y Jauge 1985).

No se debe olvidar que las concentraciones de estos metales, aunado a bajas concentraciones de oxígeno disuelto, traerá como consecuencia efectos nocivos en los organismos (fitoplancton, zooplancton, peces y plantas) que ha-

bitan la presa El Molinito, debido principalmente a que ésta presentó gran cantidad de materia orgánica.

### **Incidencia y características de los sedimentos**

Diversos autores han enfatizado la necesidad de incluir determinaciones granulométricas del sedimento en estudios que consideren cuantificaciones de metales pesados. Esto se ha justificado en base a que diversas investigaciones han mostrado que los aspectos físicos sedimentarios, tanto de cuerpos contaminados como de no contaminados, determinan la distribución de metales pesados (Gibbs 1977; Barreiro-Lozano 1991; Osuna *et al* 1986).

En cuerpos de agua como las presas ALR y El Molinito, los componentes orgánicos, además de originarse en aportaciones naturales, pueden también provenir de la influencia de algunas actividades humanas como son los desechos urbanos, y de la actividad industrial que, además de material orgánico, aporta componentes inorgánicos y metales pesados. La determinación de este parámetro en el sedimento de cuerpos de agua estudiados por contaminación, es de importancia primordial dado que guarda una estrecha relación con la distribución sedimentaria y, por lo tanto, con el comportamiento de

la variabilidad especial de los metales (Osuna *et al* 1986). La relación de la materia orgánica con los metales pesados ha sido discutida por diversos autores debido a que ésta actúa como receptor de metales que pueden acumularse por precipitación de complejos metal-orgánicos (Bryan 1976).

Por eso el presente estudio igualmente cuantificó metales pesados y parámetros ambientales asociados como distribución sedimentaria y material orgánico.

La distribución sedimentaria es de texturas con tendencia a los finos para ambas presas debido a que tienen las mismas fuentes de sedimentos, es decir, los ríos Sonora y San Miguel, los cuales incluyen la influencia de afluentes, algunos de carácter perene como los ríos Bavispe y Bacanuchi. Estas texturas son del tipo arcilla, arena limosa y lodo arenoso. En general, las texturas más finas como arcilla y lodo arenoso se localizan en las desembocaduras del río Sonora, y las más gruesas (arena limosa) se encuentran en las partes más internas respecto a dicha desembocadura. Cabe señalar que en ambas presas existen puntos internos (alejados de la desembocadura), en donde existe aún fondo rocoso debido tal vez a que no existe en dichos puntos, suficiente energía que transporte por arrastre o saltación sedimentos de dichos lugares.

No existe una referencia de valores máximos permisibles para metales en sedimentos por lo que en este sentido no es posible definir la contaminación de un ecosistema. Sin embargo, como se comentó, es prioritario su estudio dado que son metales potenciales del sedimento a la fase acuosa. Respecto a esto, se decidió realizar una comparación de los metales aquí encontrados, con los cuantificados por otros autores en cuerpos de agua dulce de la región y del mundo que han sido declarados como lugares contaminados (tabla 8).

En general, los reportes existentes se refieren a ríos, los cuales a pesar de tener un comportamiento y una dinámica diferentes a los de las presas, de cualquier manera ofrecen una idea del grado de contaminación de un determinado cuerpo de agua. En cuanto a nuestra zona de estudio, los ríos Sonora y Bacanuchi han sido declarados por Gómez y Yocupicio (1987), tan contaminados como algunos otros ríos del mundo como el Blanco, el Danubio y el Amazonas.

Tabla 8

Comparación de la concentración en ppm de metales pesados en sedimentos de las presas Abclardo L. Rodríguez y El Molinito y algunos ríos del mundo

NOMBRE	Cadmio		Cobalto		Cromo		Cobre		Hierro		Manganeso		Niquel		Plomo		Zinc	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Presa A.L.R.	0.0	10	22	78	79	92	12	104	0.8	4.6	266	1309	10.6	98	8	108	40	597
Presa El Molinito	4.0	0.6	28	78	34	42	33	93	2.8	3.9	640	1300	32	42	48	94	77	159
Río Sonora	---	---	---	---	---	---	0	1800	0.9	4.5	100	12500	---	---	0	180	20	520
Río Bacanuchi	---	---	---	---	---	---	20	660	1.8	9.6	150	14000	---	---	20	190	45	250
Río Rhine	---	---	---	---	---	---	42	408	---	---	---	---	---	---	83	566	250	2061
Río Main	---	---	---	---	---	---	30	475	---	---	---	---	---	---	50	650	100	2100
Río Neckar	---	---	---	---	---	---	25	335	---	---	---	---	---	---	60	305	120	2100
Río Danubio	---	---	---	---	---	---	50	500	---	---	---	---	---	---	81	312	250	1162
Río Ems	---	---	---	---	---	---	20	114	---	---	---	---	---	---	70	175	200	1408
Río Weser	---	---	---	---	---	---	25	210	---	---	---	---	---	---	150	405	400	3100
Río Elbe	---	---	---	---	---	---	80	220	---	---	---	---	---	---	150	712	800	2125
Río Blanco	---	---	---	---	---	---	19	---	4.17	---	886	---	---	---	26	---	---	---
Río Amazonas	---	---	---	---	---	---	266	---	5.55	---	1033	---	---	---	---	---	---	---
Río Yucon	---	---	---	---	---	---	416	---	6.32	---	1270	---	---	---	---	---	---	---
Río Rideaw	---	---	---	---	---	---	24	---	1.27	---	241	---	---	---	42	---	86	---
Río Ottawa	---	---	---	---	---	---	28	---	0.92	---	118	---	---	---	26	---	84	---

Fuente: Gómez y Yocupicio (1987)

## Conclusiones

### Zona de influencia hidrológica

1. Los asentamientos humanos más importantes en las partes alta y media de la cuenca del río Sonora y sus afluentes, muestran un crecimiento urbano desordenado que se refleja en la falta de ciertos servicios básicos como vivienda, drenaje, agua potable y recolección de basura.
2. Este crecimiento desordenado, sumado al uso irracional de los recursos naturales, ha incidido en el deterioro del medio y la calidad de vida, lo cual con el transcurso de los años puede provocar colapsos generales en las actividades económicas de la región.
3. En la región no existen plantas de tratamiento de aguas negras o rellenos sanitarios, por lo que los residuos son de una manera u otra integrados al río Sonora a su paso por las diferentes poblaciones. Sin lugar a dudas, los más importantes son las aguas ácidas generadas por la Compañía Minera de Cananea y las aguas residuales sin tratamiento de los pueblos asentados en las márgenes del río.
4. En cuanto a la calidad del agua de abastecimiento a poblados, ésta no es óptima, ya que la mayoría de ellos son abastecidos por pozos-noria que conllevan riesgos de presencia de patógenos y metales pesados que son difíciles de eliminar consólo una desinfección, cuando la hay.
5. Las descargas de aguas residuales de los asentamientos humanos no tienen tratamiento y se localizan fundamentalmente sobre el río en las inmediaciones de los poblados. La población servida por el alcantarillado en la cuenca, asciende a 37,103 habitantes que corresponde al 51.9% del total de la población. Si se considera un uso unitario bajo de 150 l/hab/día, se tienen 5,565.4 m<sup>3</sup> diarios de agua negra sin tratamiento que recibe el río Sonora en su cuencas alta y media.
6. Ninguno de los asentamientos humanos establecidos en la cuenca del río Sonora, tiene garantía de que el agua para consumo sea totalmente potable. Esto se debe a que dependen de pozos localizados cerca del lecho del río que no tienen sistemas de desinfección. Por ello es necesario determinar su calidad y sus posibilidades de tratamiento, además de ampliar la cobertura del servicio.
7. En ningún centro de población existen sistemas de tratamientos de aguas residuales, por lo que éstas son enviadas totalmente crudas al lecho del río

Sonora. Sólo en Arizpe se construyeron lagunas de estabilización, mismas que se encuentran azolvadas por fallas en la operación y por lo tanto dichas aguas prácticamente no son tratadas.

8. No se tiene conocimiento de que en la cuenca exista alguna reutilización de agua. Si se da el caso, ésta es circunstancial por el hecho de que las aguas negras se mezclan con las aguas del río y posteriormente se aprovechan para regar algún cultivo en las riberas del río. Esta situación, sin embargo, no cumple con el doble propósito de reusar el agua, por lo que se considera que no se efectúa como tal.

9. Las condiciones de descarga de la mina de Cananea son abiertamente ácidas y con alta carga de metales pesados. Estas descargas son realizadas en los llamadas "presas de jales" y posteriormente derramadas al lecho del río Sonora.

Las parámetros de acidez y las concentraciones de metales pesados varían ampliamente, pero estas características son constantes durante todo el año, variando solamente en coloración. Por tal motivo se puede concluir que estos derrames ejercen una fuerte condición de contaminación al río y a la cuenca en general.

El tratamiento de las aguas residuales prácticamente no existe, por lo que se concluye que dichas aguas llegan al río crudas afectando su calidad. La actividad industrial no neutraliza sus descargas ácidas y los metales pesados no son recuperados en ninguna etapa del proceso; en consecuencia éstos se presentan a lo largo del cauce del río y en las aguas de la presa ALR. Lo anterior significa que el procesamiento de las aguas provenientes de las minas y almacenadas en los jales, no constituye en sí un tratamiento a este tipo de residuos.

10. Dada la vocación del suelo en la región, la ganadería es un importante actividad económica. Esta se encuentra en casi en todas sus modalidades: establos lecheros, granjas porcinas y avícolas, excepto el caso de la engorda de ganado bovino. Dado que el coeficiente de agostadero utilizado en la región es mayor que el recomendado, se puede concluir que existe un sobrepastoreo del 75 al 100%, el cual está afectando en forma más considerable a la parte media de la cuenca, que por su vegetación es más sensible. Esto ocasiona un incremento de la erosión al desaparecer en forma más consistente la capa vegetal, con la consecuente pérdida de productividad.

11. La actividad agrícola se considera casi exclusiva de las riberas de los ríos y está orientada fundamentalmente a satisfacer las necesidades forrajeras en la parte alta de la cuenca. En la parte media se localizan algunos otros cultivos como vid y hortalizas.

En esta región del río Sonora y sus afluentes no se tiene conocimiento de tierras agrícolas abandonadas, por lo que éstas no constituyen un problema de contaminación o alteración del medio.

Los principales usos de la tierra agrícola en la parte norte de la cuenca son cultivos forrajeros, por lo que no se utilizan pesticidas en grandes cantidades; pero sí se usan fertilizantes como un medio normal para incrementar la producción en los cultivos. En la parte media de la cuenca, principalmente en la región de Carbó, Pesqueira, Zamora y San Pedro, cercanos al río Zanjón, existen cultivos de vid y algunas hortalizas que requieren de un buen control de plagas mediante el uso de agroquímicos, por lo que residuos de éstos pueden esperarse eventualmente en el agua.

## Presas Abelardo L. Rodríguez

1. La población que afecta la calidad de agua de la presa está ubicada en el noreste de la ciudad de Hermosillo y en la parte norte de la presa. Las descargas de las aguas residuales municipales provenientes de las colonias aledañas a la presa están caracterizadas estrictamente como descargas domiciliarias, mismas que son canalizadas en parte a través del único alcantarillado existente. Este sistema tiene una cobertura de atención del 26% y beneficia en estas colonias a 2013 habitantes; el resto de las aguas residuales presumiblemente van a dar libremente a la presa. En esta área no existe ningún tratamiento de aguas negras o aguas residuales.

2. En la zona sur la problemática es más complicada, ya que en ella se asienta la zona industrial que agrupa a la mayoría de este tipo de empresas. Estas no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales y se limitan a depositarlas en el sistema de alcantarillado, para después pasar por el emisor El Papalote y ser enviadas al sistema de alcantarillado de la ciudad. Sin embargo, la operación del sistema no es siempre segura, por las rupturas de los dre-

najes y las fallas de operación de las bombas, lo que da como resultado los escurrimientos de aguas combinadas al vaso de la presa.

3. Las aguas residuales de tipo agrícola y pecuario tienen alta presencia en la presa ALR. Los escurrimientos de tipo agrícola provienen del norte y este de la presa, donde predominan cultivos forrajeros en las cercanías y cultivos de frutales en el área del río San Miguel. En esta última, se usan diferentes agroquímicos por las necesidades propias de los cultivos. Caso especial son los corrales de engorda de ganado bovino y las granjas porcícolas y de aves diseminadas prácticamente alrededor del embalse. Estas no tienen ningún control de sus residuos, ni de sólidos ni líquidos, por lo que se presume llegan al embalse de la presa, por una u otra vía.

### **Programas y acciones propuestas de prevención, control y restauración**

Debido a la problemática analizada con anterioridad, es preciso establecer lineamientos de política que indiquen en forma ordenada la estrategia a seguir para solucionar dicha problemática, considerando la concertación de acciones entre los gobiernos federal, estatal y municipal.

Los programas generales y sus acciones que en forma preliminar se derivan del análisis realizado son los siguientes:

### **Programas de prevención**

- Evitar en la medida de lo posible la contaminación en los cuerpos de agua de la cuenca del río Sonora y regenerar sus condiciones, para tender a su estado natural.
- Evitar la degradación de los suelos en toda la cuenca del río Sonora, y sus afluentes.
- Propiciar estudios de sedimentos en las dos presas, para definir valores máximos de metales pesados en la fase acuosa de los sedimentos.
- Propiciar una utilización racional de los recursos hidráulicos de la cuenca del río Sonora y las presas de El Molinito y Abelardo L. Rodríguez.
- Regenerar los sistemas hidrológicos impactados por el crecimiento industrial y los asentamientos humanos desordenados.
- Proteger y preservar los sistemas hidrológicos y las aguas subterráneas para el abasto público.
- Mejorar la disposición de todos los residuos líquidos y sólidos que se vierten en la cuenca del río Sonora.

- Planificar los crecimientos urbanos y dotar a los actuales de la infraestructura adecuada.
- Promover e impulsar el reuso del agua en toda la cuenca del río Sonora.
- Poner especial atención a las industrias que manejan residuos tóxicos, peligrosos o explosivos para que observen las leyes federales y estatales en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente.
- Requerir a todas las industrias, granjas, engordas, o establecimientos asentados en la zona de influencia de la presa, para que presenten al menos la Manifestación de Impacto Ambiental en su Modalidad General.
- Permitir la instalación de industrias únicamente cuando cuenten, al inicio de las operaciones, con un sistema completo de tratamiento de aguas residuales, con remoción de tóxicos previo a la disposición en la zona de influencia.
- Permitir la instalación de establecimientos industriales y pecuarios siempre y cuando al inicio de operaciones, cuenten con un sistema de tratamiento de aguas residuales, de acuerdo a los requerimientos establecidos en las disposiciones legales en vigor y estén conectados a sistemas de conducción de aguas residuales.

- Evitar el vertimiento de aguas residuales procedentes de asentamientos humanos actuales o futuros al vaso de la presa.
- Regular los usos del suelo en la cuenca y el entorno del vaso de la presa ALR.
- Evitar la infiltración de aguas residuales industriales con tóxicos al acuífero de la cuenca y de la presa ALR.
- Respetar el coeficiente de agostadero y evitar el sobrepastoreo y los desmontes masivos en la cuenca del río Sonora.
- Establecer un control efectivo sobre los cultivos agrícolas que se tienen en el vaso de la presa ALR y evitar o controlar el uso de pesticidas en sus diversas formas de aplicación.
- Repoblar la presa ALR con peces bioindicadores.

### **Programas de control**

- Instalar sistemas de tratamiento de aguas residuales en las empresas ya establecidas de conformidad con la reglamentación en vigor.
- Evitar la disposición de residuos sólidos en el área de influencia de la presa y en los escurrimientos superficiales.
- Implantar sistemas de reuso del agua en toda la zona de influencia y el entorno de la presa ALR.

- Establecer sistemas concertados de vigilancia de la calidad del agua entre las autoridades y el sector productivo a través de los organismos representativos.
- Establecer un sistema de vigilancia de peces y aves residentes y migratorias como bio-indicadores.
- Instalar sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales en la cuenca del río Sonora en forma concertada entre los tres niveles de gobierno y los sectores productivos.
- Aplicar la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y sus reglamentos a las industrias de alto riesgo ecológico y ambiental, establecidas en el vaso de la presa ALR.
- Aplicar la Ley No. 217 del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente para el Estado de Sonora, a aquellas industrias, establecimientos o giros de bajo y mediano riesgo ecológico y ambiental, utilizando como instrumento los reglamentos de la Ley Federal al respecto.
- Realizar monitoreos de metales en sedimento y parámetros ambientales asociados como textura y material orgánico en la misma estructura y frecuencia que se haga para la fase acuosa.
- Evaluar la cantidad de metales de la fracción biodisponible, además de monitorear dichos metales en su posible acumulación en dichos organismos, dado que algunas especies neotónicas en algún momento dependen directamente del sustrato como fuente de alimento.
- Elaborar un registro de monitoreo de varios años con el propósito de evaluar el grado en que la presa El Molinito puede proteger de la contaminación y el azolvamiento a la presa ALR. Este criterio debe considerarse con suma cautela en el sentido de que ambos cuerpos de agua son en la práctica utilizables, por lo que deben ser igualmente controlados de la incidencia de contaminantes.
- Analizar la erosión hídrica ocasionada por los principales ríos con el propósito de implementar alguna práctica de conservación de suelos que evite el arrastre de los mismos y su acumulación en los cuerpos de agua El Molinito y Abelardo L. Rodríguez.
- Realizar un estudio detallado de la velocidad de sedimentación, densidad de las partículas y algunos otros parámetros sedimentológicos, que proporcione las bases para conocer la cantidad potencial de metales que estando precipitados en el sedimento pueden formar parte de la fase acuosa.
- Realizar estudios sobre bioacumulación de sustancias tóxicas (metales pesados) en especies acuáticas bioindicadoras como

es el caso de la tilapia (abundante, resistente, de fácil manejo y utilizada para consumo humano).

- Llevar a cabo estudios de metales pesados a nivel de zooplankton y plantas de los embalses, dado que forman parte de la cadena trófica de los peces.
- Detectar y monitorear parásitos y enfermedades de las diferentes especies de peces dulceacuícolas, en forma conjunta con dependencias como Fomento Pesquero, y en coordinación con las cooperativas establecidas en aguas interiores. Asimismo, llevar a cabo un seguimiento sobre el comportamiento de las poblaciones de peces que existen en los repesos del estado de Sonora.

### Programas de restauración

- Promover la forestación de áreas descubiertas de vegetación en áreas críticas de la cuenca del río Sonora y los embalses de las dos presas.
- Establecer técnicas agrícolas que fijen nitrógeno y fósforo en el suelo.
- Construir estructuras de retención de sólidos (tipo gaviones) aguas arriba de la presa Abelardo L. Rodríguez.

### Acciones de prevención

- Realizar un inventario de los proyectos e instalaciones industriales en la cuenca del río Sonora.
- Tipificar los elementos contaminantes que probablemente existan en las descargas de aguas residuales.
- Definir una zona de amortiguamiento de la presa ALR, con la finalidad de evitar cualquier tipo de actividad que modifique las condiciones naturales de ésta.
- Negar la instalación de cualquier establecimiento o asentamiento abajo de la cota de 240 metros del vaso de la presa.
- Realizar los estudios y el proyecto ejecutivo para ampliar la red de alcantarillado al 100% de cobertura en los asentamientos humanos que impactan a la presa ALR.
- Realizar los proyectos para dotar de infraestructura urbana a los asentamientos humanos del vaso de la presa.
- Rehabilitar los alcantarillados y sistemas de conducción de las aguas residuales que influyen en el vaso de la presa.
- Buscar mecanismos para realizar las obras y gestionar el financiamiento de las mismas.
- Realizar un diagnóstico de esquema, jerarquización y ordenamiento de los usos del suelo

en la cuenca y en el entorno del vaso.

- Reglamentar los usos del suelo en la cuenca y en el vaso de la presa.
- Evitar el uso de drenaje urbano para desechos industriales, o que éstos se convierta en sistemas combinados.
- Verificar que las disposiciones de aguas tóxicas, explosivas o peligrosas tengan un tratamiento que las elimine para que no se infiltren en el suelo, o sean dispuestas en drenajes urbanos sin un acondicionamiento.
- Realizar campañas de divulgación en las zonas rurales para respetar los índices de agostadero.
- Definir la zona de influencia directa de la presa Abelardo Rodríguez.
- Negar el establecimiento de empresas de alto riesgo ambiental, por sus materias primas o desechos, así como también negar el establecimiento de industrias tratadoras de residuos peligrosos.

### Acciones de control

- Realizar un inventario industrial con el objeto de identificar las descargas y los destinos y los tratamientos si es que los hay.

- Realizar una caracterización a todas las descargas de aguas residuales, principalmente a aquellas que por su gasto o condición sean más importantes.
- Realizar los estudios de capacidad de asimilación de los cuerpos receptores, específicamente de las presas Abelardo L. Rodríguez y El Molinito, y el río Sonora.
- Fijación de condiciones particulares de descarga a todas las industrias que se ubiquen en la cuenca.
- Identificación de sitios susceptibles de ser utilizados para la disposición final de residuos sólidos.
- Realizar los estudios de factibilidad técnica para los sitios de disposición final en toda la cuenca.
- Desarrollar métodos y/o sistemas que permitan el reuso del agua.
- Verificar constantemente el funcionamiento del colector sur de la presa conocido como El Papalote, que conduce las aguas industriales fuera del vaso.
- Verificar el subcolector norte de la presa ALR, que recibe las aguas de la colonia Las Amapolas y otras cercanas a ella.
- Desarrollar programas de monitoreo en todas las descargas que se efectúan en la cuenca del río Sonora y el vaso de la presa.

- Desarrollar técnicas de estandarización de metodologías de análisis.
- Establecer una red de monitoreo de calidad del agua en la cuenca y en la presa ALR, que incluya un espectro amplio de parámetros.
- Proteger las poblaciones de peces y aves residentes de la presa ALR, y establecer un sistema de control como bioindicadores.
- Desarrollar los proyectos ejecutivos para el tratamiento de las aguas residuales de asentamientos humanos mayores de 5000 habitantes.
- Buscar mecanismos para realizar las obras y gestionar el financiamiento de las mismas.
- Construir, operar y mantener los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Establecer mecanismos de coordinación para la reubicación de establecimientos pecuarios, fuera del área de influencia de la presa Abelardo L. Rodríguez.
- Elaborar estudios de factibilidad técnico-económicos para la reubicación de los establecimientos pecuarios.
- Establecer mecanismos para eficientar la operación de los sistemas de captación y conducción de las aguas residuales.
- Adquirir los terrenos ubicados en la zona de influencia de la presa ALR.

### Acciones de restauración

- Seleccionar las especies más adecuadas para la reforestación de la cuenca (ambientes desérticos).
- Establecer viveros para la producción del material vegetal de forestación.
- Establecer los mecanismos para efectuar la forestación continua en el área de influencia de la presa ALR.
- Realizar los estudios de factibilidad técnica y económica para la construcción de las estructuras de retención.
- Construir las estructuras de retención.
- Proteger la zona de amortiguamiento del embalse de la presa Abelardo L. Rodríguez.
- Realizar la reforestación de la zona de influencia de la presa Abelardo L. Rodríguez.

### Situación actual

A partir de la realización de este estudio, dependencias estatales y municipales han llevado a cabo diversas acciones recomendadas en el mismo. Entre ellas destacan: la delimitación de las zonas urbanas de la parte norte de la presa, la construcción de un bordo de contención de 1.5 metros alrededor de la parte norte, la construcción del cerco perimetral, el desalojo de animales que se

asentaban en el vaso de la presa, la rehabilitación de drenajes, la vigilancia intensiva por parte de las autoridades de la zona de estudio y la reubicación de algunas granjas porcícolas. Sin embargo, la acción más importante ha sido la declaración de la zona de estudio como área natural protegida, bajo la categoría de zona sujeta a conservación ecológica, en un área de 28 mil hectáreas. (Gobierno del Estado de Sonora 1994).

## Bibliografía

A.O.A.C. *Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists*. 14 th. Edition, Washington, D.C. Association of Official Analytical Chemist, 1984. 1141 pp.

American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 16th. Ed. Washington, D.C. USA. 1985. 1268 pp.

Barreiro-Lozano D.R. *Estudio de metales pesados en medio y organismos de un ecosistema de Ría (Pontedeume, A. Coruña)*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de Biología Fundamental. 1991. 227 pp.

Bowen, S.H. Feeding, digestion and growth cualitative considerations. En: *The biology and culture of tilapias*, editado por R.S.V. Pullin y R.H. Lowe-McConnell ICLARM Conf. Proc., C7, 1982. 141-156 pp.

Bruland, K.W., B.M. Koide and E.D. Goldberg. A history of metal pollution in Souther California. *Sci. Technol.* No. 8. 1974. Pp. 425-432.

Bryan, G.W. Heavy metal contamination in the sea. In: R. Johnston (Ed.), *Marine Pollution*. Academic Press, London. 1976. pp. 185-302.

Bryan, G.H. *Bioaccumulation of marine pollutants*. Philos. Trans. Res. Soc. London 13, 1979. 286-483 pp.

Cairns J., Thompson, K.W., y Hendricks, A.C. *Effects of fluctuating, sublethal applications of heavy metal solutions upon the gill ventilatory response of bluegill (Lepomis macrochirus)*. E.P.A. 600/53-81-003. 1981. 4 pp.

Contreras-Flores, L.E. *Manual de Prevención de Enfermedades que Afectan a los Organismos en Cultivo*. SEPESCA. 1988. 50 pp.

Elizondo-Garza, R. Recursos Bióticos en Aguas Continentales. En:

*Los Recursos Pesqueros del País*. SEPESCA. 1988. Per. Ed. 521-551 pp.

Folk, R.L. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Pub. Co., Austin, Texas. 1974. 182 pp.

Fernícola De. A.G.G y P. Jauge. *Nociones Básicas de Toxicología*. ECO/OPS/OMS. 1985. 81 pp.

Gibbs, R.J. Transport phases of transition metals in the Amazon and Yucon Rivers. *Geol. Soc. Am. Bull.* No. 88. 1977. Pp. 829-943.

Gobierno del Estado de Sonora. *Boletín Oficial*. 3 de febrero de 1994.

Gómez-Alvarez, A. y Yocupicio A., M.T. *Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en el Río Sonora y su afluente el Río Bacanuchi*. Tesis Licenciatura. Depto. Químico-Biológicas. Universidad de Sonora. 1987. 137 pp.

Gómez-Alvarez, A., Villalba-Atondo, A., Grijalva-Chon, M., Castro-Longoria, R., y Yépez-Velázquez, L.M. *Diagnosis y Evaluación de los Parámetros Fisicoquímicos en agua y sedimento, así como la determinación de metales pesados en la población de Tilapia (Oreochromis sp), en la Presa Abelardo L. Rodríguez*.

Informe Técnico No. 1. CICTUS, UNISON. 1992. 76 pp.

Glober, E., Du Preez, H.H. y Van Vuren, J.H.J. Toxic Effects of Zinc and Iron on the Routine Oxygen Consumption of *Tilapia spairmani* (Cichlidae). *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 94c, No. 1, 1989. 207-214 pp.

Hoffman, G.L. *Parasites of North American Freshwater fishes*. Univ. of Calif. Press, Berkeley and Los Angeles, Calif. Cambridge University Press, London. 1967. 485 pp.

Jímenez-Guzmán, F. Garza, F.H., Segovia, S.F., Galaviz, S.L., Iruegas, B.E., Adame, I. M. y Salinas, L.N. *Parásitos y enfermedades de la tilapia*. Fondo Nacional para el Desarrollo Pesquero. México, 1981. 109 pp.

Koli, A.K., Williams, W.R., McClary, E.N., Wright, E.L., y Burell, T.M. Mercury levels in freshwater fish of the state of South Carolina. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 17, 1977. 82 pp.

Morel F., R.E. Mcduff and J.J. Morgan. Interactions and Chemostasis in Aquatic Chemical Systems-Role Ph, Solubility, and Complexation, Chap. 6, Pp. 157-200. In: Singer P.C. (Ed.). *Trace Metals and Metal-*

*Organic Interactions in Natural Waters*. Ann Arbor Science Publishers. USA, 1973.

Nauen, C.C. *Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products, Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 1983. 150 pp.

National Institute of Standards and Technology. *Standard Reference Materials Catalog 1992-93*. U.S. Department of Commerce. NIST Special Publication 260. Washington, USA, 1992. 162 pp.

Osuna, L.J.I., F. Osuna y P. Ortega. Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Pb, y Zn en los sedimentos del Puerto y Antepuerto de Mazatlán. *Ciencias Marinas*. Vol. 2, No. 12. 1986. Pp. 35-45.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. *Boletín Hidrológico*. Tomo II, No. 40, Dirección General de Hidrología, México, D.F., 1969.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. *Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas*. Subsecretaría de Planeación. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente. México, D.F., 1973. 16 pp.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. *Diario Oficial de la Federación*. 2 de Diciembre de 1989.

Tovell, P.A., Howes, A., y C.S. Newsome. Absorption metabolism and excretion by goldfish of the anionic detergent, sodium lauryl sulphate. *Toxicology*. No. 4. 1975. Pp. 17-29.

Walkel A. and T.A. Black. Examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter: a proposed modification of the chromic acid titration method soil. *Science*. No. 37. 1934. Pp. 28-39.

## Diagnóstico preliminar de la calidad del agua de la cuenca del río Concepción-arroyo Cocóspera en el municipio de Magdalena de Kino, Sonora

Secretaría de Desarrollo Social-Delegación Sonora\*

\* Este trabajo fue elaborado por Patricia Aguayo, Elvira Rogero y Saúl Calderón del Departamento de Laboratorio; revisado por César Catalán, Subdelegado de Ecología; y autorizado por Edmundo Chávez, Delegado Estatal